

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Приладобудування**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Киричук Ю.В

«\_\_»\_\_\_\_\_2020 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
систем точної механіки»

на тему: «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху  
кристалізатора»

Виконав (-ла):

студент (-ка) 4 курсу, групи ПМ-61

Крушинських Кирило Вікторович \_\_\_\_\_

Керівник:

Проф. д.т.н.

Гераїмчук Михайло Дем'янович \_\_\_\_\_

Консультант з технологічного розділу:

Проф. д.т.н.

Антонюк Віктор Степанович \_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н. , ст. викладач

Матвієнко Сергій Миколайович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент Крушинських Кирило Вікторович  
\_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

### ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПМ-61. 07.000 ПЗ	Пояснювальна записка	107	
3	A1	ДП ПМ-61. 07.000.001	Мідний кристалізатор	1	
4	A1	ДП ПМ-61. 07.000.002	Механізм хитання кристалізатора	1	
5	A1	ДП ПМ-61. 07.000.003	Оптоелектронна система контролю положення роликів машини безперервного лиття заготовок	1	
6	A1	ДП ПМ-61. 07.000.СК	Машина безперервного лиття заготовок. Складальний кресленик	1	
7					
8					
9					

				ДП ПМ-61 07.000.01		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розроб.	Крушинських К.В.			Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології систем точної механіки	Лист	Листів
Керівн.	Гераїмчук М.Д.				1	1
Консульт.	Матвієнко С.М.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПБ Гр. ПМ-61	
Н/контр.	Антонюк В.С					
Зав.каф.	Киричук Ю.В.					

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра виробництва приладів**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрявленння - Приладобудування

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології систем точної механіки»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Киричук Ю.В

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Крушинських Кирило Вікторович**

1. Тема проекту «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху кристалізатора», керівник проекту проф., д.т.н. Гераїмчук Михайло Дем'янович затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
№ \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту

4. Зміст пояснювальної записки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк В.С. проф. д.т.н.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Огляд і аналіз літератури	13.04.2020 – 19.04.2020	
	Проведення аналізу	21.04.2020 – 26.04.2020	
	Проведення розрахунків	27.04.2020 – 3.05.2020	
	Оформлення текстової та графічної частини	4.05.2020 – 17.05.2020	

Студент

Крушинських Кирило Вікторович

Керівник

Гераїмчук Михайло Дем'янович

---

# **Пояснювальна записка**

## **до дипломного проекту**

**на тему: «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху  
кристалізатора»**

## Анотація

Дипломний проект на тему «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів руху кристалізатора» складається з 4 розділів, висновків, списку літератури і додатків. Пояснювальна записка містить 100 сторінок, 29 рисунків, 1 таблицю, список літератури з 38 найменувань та 1 додатка.

Тема дипломного проекту є актуальною, оскільки моніторинг параметрів руху кристалізатора машини безперервного лиття заготовок є достатньо поширеною задачею на підприємствах, які займаються виготовленням заготовок за технологією безперервного лиття. Використовуючи системи моніторингу механізму хитання кристалізатора можливо значно знизити вірогідність випуску бракованих заготовок, покращити якість лиття в цілому та зменшити ймовірність поломок за рахунок постійного контролю причин їх появ : зазорів між елементами кристалізатора, зсув фаз хитання, поява неточності у роботі двигуна. Перед підприємствами стоїть багато задач, які пов'язані з підвищенням точності та надійності режимів роботи машин безперервного лиття заготовок. Тому дослідження та оптимізація таких систем є важливою та актуальною задачею.

Метою дослідження в бакалаврському проекті є огляд процесу безперервного лиття заготовок, принципу дії механізму хитання кристалізатора, ознайомлення з системами контролю параметрів руху кристалізатора МБЛЗ, дослідження існуючих методів обробки інформації у подібних системах.

Об'єктом дослідження є механізм хитання кристалізатора та системи контролю параметрів руху кристалізатора МБЛЗ.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
5						
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат		5

## Annotation

Thesis project on "Information and measurement system for monitoring the parameters of the crystallizer" consists of 4 sections, conclusions, bibliography and appendices. The explanatory note contains 107 pages, 29 figures, 1 table, a list of references of 38 items and 1 appendix.

The topic of the diploma project is relevant, because the monitoring of the parameters of the crystallizer of the machine for continuous casting of billets is a fairly common task in enterprises engaged in the manufacture of billets by continuous casting technology. Using systems of monitoring the mechanism of oscillation of the mold can significantly reduce the likelihood of defective workpieces, improve the quality of casting in general and reduce the likelihood of breakage by constantly monitoring the causes of their occurrence: gaps between elements of the mold, phase shift, inaccuracy in engine operation. Businesses face many challenges related to improving the accuracy and reliability of continuous casting machines. Therefore, research and optimization of such systems is an important and urgent task.

The purpose of the research in the bachelor's project is to review the process of continuous casting of workpieces, the principle of the mechanism of oscillation of the mold, acquaintance with the control systems of the motion of the crystallizer, research of existing methods of information processing in such systems.

The object of the study is the mechanism of oscillation of the mold and the system of control of the parameters of the crystallizer of the caster.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
6						
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		6

## Зміст

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	9
Вступ.....	10
1. Проектно конструкторський розділ.....	12
1.1. Машина безперервного лиття заготовок.....	12
1.2. Кристалізатор.....	17
1.3. Хитання кристалізатора і вплив його параметрів на формування заготовки.....	21
1.4. Методи і засоби контролю технічного стану механізму хитання кристалізатора .....	31
1.5. Сучасні конструкції механізмів хитання кристалізатора і методики їх розрахунку .....	34
1.6. Розробка математичної моделі об'єкта і теоретичне дослідження механізму хитання кристалізатора.....	47
1.7. Розробка математичної моделі впливу зазорів в підшипникових вузлах на якість траєкторії руху кристалізатора.....	51
1.8. Розробка математичної моделі впливу зазорів в підшипникових вузлах на деформацію оболонки злитка .....	57
1.9. Висновки по розділу .....	58
2. Технологічний розділ .....	61
2.1. Експериментально-діагностичні методи контролю параметрів механізму хитання кристалізатора.....	61
2.2. Опис методики досліджень.....	61

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
7						7
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат		



2.3. Результати експериментальних досліджень з використанням оптичелектронної системи контролю.....	66
2.4. Визначення похибки вимірювань амплітуди руху відбитого променя по екрану приймального пристрою.....	70
2.5. Визначення радіуса фактичної траєкторії руху кристалізатора при частоті хитання 120 хит / хв.....	71
2.6. Оптичелектронна система контролю механізму хитання кристалізатора.....	73
2.7. Апаратна реалізація оптичелектронної системи контролю механізму хитання кристалізатора.....	74
2.8. Програмне забезпечення реалізації оптичелектронної системи контролю механізму хитання кристалізатора.....	78
2.9. Оптичелектронна система контролю положення роликів установки безперервного розливання сталі.....	81
2.10. Визначення основних показників технологічності.....	83
2.11. Схема складального складу.....	86
2.12. Технологічна схема складання.....	88
2.13. Технологічний процес складання.....	89
2.14. Визначення фізичної (параметричної) взаємозамінності.....	90
2.15. Розрахунок складальної одиниці на точність.....	91
2.16. Висновки по розділу .....	92
Висновки.....	93
Список використаної літератури.....	95
Додатки.....	101

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
8						8
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

**УНРС** – установка неперервного лиття заготовок

**МБЛЗ** – машина безперервного лиття заготовок

**МХК** – механізм хитання кристалізатора

**ЕОМ** – електронно обчислювальна машина

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
9						
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат		9

## Вступ

Металургічні підприємства, при виготовленні слябів за допомогою технології безперервного лиття заготовок, використовують машину безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Однією з найважливіших частин машини є кристалізатор, від якості роботи якого визначається якість заготовки в цілому. Тому для дотримання режимів його роботи, траєкторії руху та покращення якості злитка, такі машини потребують використання систем моніторингу та діагностики механізму хитання кристалізатора.

Користуючись системами контролю параметрів руху кристалізатора ми можемо оцінити правильність налаштування обладнання, перевірити справність ливарного обладнання в надзвичайно короткий термін та запобігти можливим зламам та надзвичайним ситуаціям. Процес лиття заготовок дуже складний та небезпечний, тому працівники підприємства дуже залежать від справності обладнання ливарних установок. При аваріях на МНЛЗ іноді відбуваються людські жертви, підприємство несе значні фінансові втрати через простой виробництва.

**Мета БР:** метою даної роботи є ознайомлення з машиною безперервного лиття заготовок та системами контролю руху кристалізатора МНЛЗ, дослідження існуючих методів обробки інформації у подібних системах, дослідження апаратури для контролю роботи механізму хитання кристалізатора.

**Задачі БР:** ознайомитись з структурою МНЛЗ, видами установок, які використовують, розглянути системи контролю та проблеми виготовлення заготовок.

**Об'єкт дослідження:** механізм хитання кристалізатора.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
10							10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

**Публікації:**

Стаття у матеріалах XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».

**Ключові слова:** металургія, машина безперервного лиття заготовок(МБЛЗ), механізм хитання кристалізатора(МХК), кристалізатор, заготовка.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
11						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

## 1. Проектно-конструкторський розділ

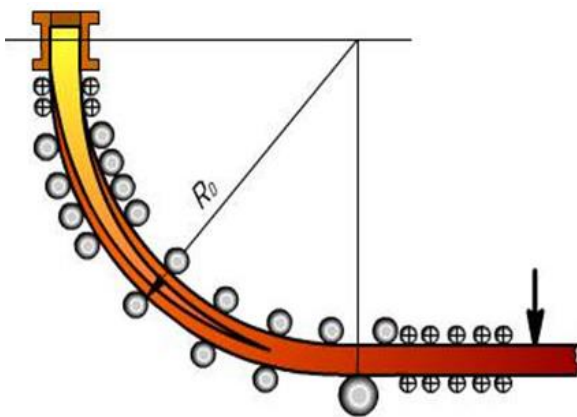
### 1.1 Машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ)

УНРС (установка неперервного розливання сталі) – металургійний агрегат для розливання сталі, перша назва цієї машини, але згодом була витіснена аббревіатурою «МБЛЗ» [1].

МБЛЗ – машина безперервного лиття заготовок.

Даний спосіб виготовлення заготовок було винайдено ще у середині 19 століття Г. Бессемером. Перші спроби виготовлення заготовок таким способом скінчились крахом. Лише в 30-х машини безперервного лиття отримали такий вид як і сьогодні, лиття через кристалізатор, який постійно охолоджувався. Цей спосіб підходить під різні типи металу, заготовки вироблялись як з чорних металів, кольорових металів та їх сплавів. Перша установка безперервного лиття заготовок у СРСР була введена в промисловість в 1955 році на заводі «Червоне Сормово» [2].

На даний момент існують 4 види конструкцій МБЛЗ :



Криволінійна

Висота МБЛЗ з вигином злитка і радіальна менше, ніж вертикальна. Здійснюється вигин злитку, що перекладає його у горизонтальне положення в установці.

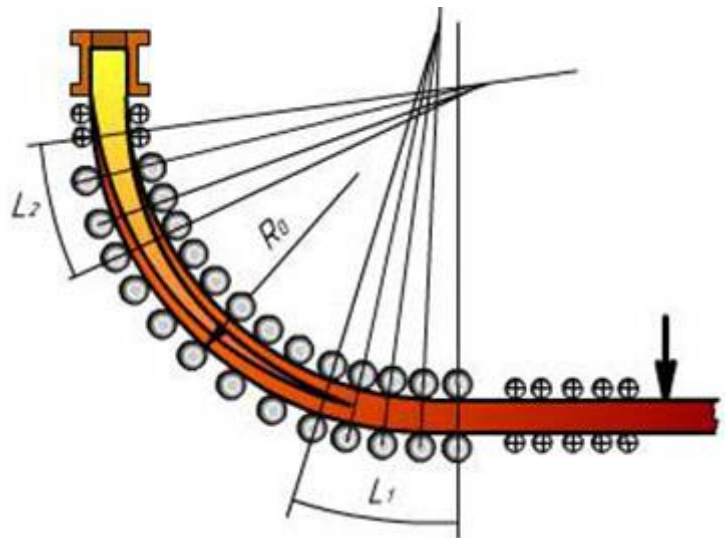
У машини безперервного лиття заготовок радіального та криволінійного типу сам кристалізатор має форму дуги

певного радіуса заокруглення. При виході з кристалізатора злиток потрапляє в жорсткі кліти вторинного охолодження, складені з роликів секцій, охолоджуваних системою водяних форсунок.

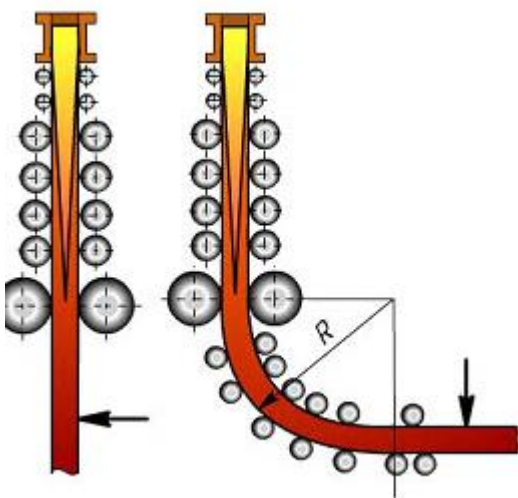
					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
12						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

Якість заготовки при цьому буде значно нижче, внаслідок того, що неметалеві включення і бульбашки газу будуть спливати до верхньої межі. Така фізична неоднорідність суттєво знижує кондиції продукції з заготовки. Крім того, до теперішнього часу на практиці не вирішені повністю питання успішного поєднання

роботи метало-приймача і кристалізатора (для умов розливання сталі). Тому в чорній металургії такі МБЛЗ практично не використовуються.



Радіальна

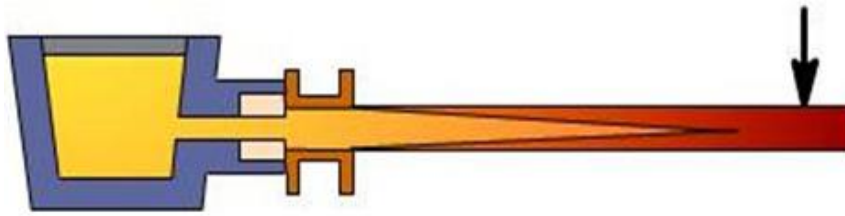


Вертикальна

МБЛЗ вертикального типу найкращим чином забезпечує оптимальні умови кристалізації та витягування злитку, але така установка потребує значної висоти опорних конструкцій, тому зростають капітальні витрати на будівництво.

Горизонтальні МБЛЗ видаються вельми перспективними в частині зниження витрат на будівництво машини. Вони компактні і їх зручно розміщувати в діючих цехах. При цьому немає необхідності збільшувати висоту

будівлі або формувати глибокий колодезь. Обслуговування такої машини, ремонт і заміна основних вузлів вельми зручні і прості. Тим часом відсутність деформації заготовки в процесі затвердіння дає можливість лити горизонтальним способом тендітні і трещіно-чуттєві сталі та сплави, які не витримують деформації в процесі лиття. Але, досить очевидним є і той факт, що якість заготовки при цьому буде



Горизонтальна

значно нижче, внаслідок того, що неметалеві включення і бульбашки газу будуть спливати до верхньої межі. Така фізична неоднорідність суттєво знижує кондиції продукції заготовки. Крім того, до теперішнього часу на практиці не вирішені повністю питання успішного поєднання роботи метало-приймача і кристалізатора (для умов розливання сталі). Тому в чорній металургії такі МБЛЗ практично не використовуються.

Кількість струмків в таких машинах може складати від 1 до 8 в залежності від розмірів заготовок та виду машини.

Висота МБЛЗ з вигином злитка і радіальна менше, ніж вертикальна. Здійснюється вигин злитку, що перекладає його у горизонтальне положення в установці. У машини безперервного лиття заготовок радіального типу сам кристалізатор має форму дуги певного радіуса заокруглення. При виході з кристалізатора злиток потрапляє в жорсткі кліті вторинного охолодження, складені з роликів секцій, охолоджуваних системою водяних форсунок.

Величина радіусу заокруглення кристалізатора МБЛЗ визначає в основному висоту установки. Радіус заокруглення кристалізатора і клітей вторинного охолодження розраховують таким чином, щоб при виході в горизонтальне положення заготовка повністю затверділа.

Така технологія розливки сталі для сортових та листових заготовок, виділяється техніко-економічними перевагами в порівнянні з виготовленням заготовок із злитків:

- Поліпшення умов праці для працівників, адже при такому виготовленні зменшується кількість важких робіт.
- Процес підготовки МБЗЛ є механізований та майже автоматизований аж до різання та сортування заготовок.

- Зменшення капітальних та експлуатаційних витрат, адже відсутні обтискні стани.
- За рахунок автоматизації та механізації досягається сталість умов виробництва і підвищується продуктивність праці.

За геометрією злитку МБЛЗ поділяються на :



Блюмові

- блюмові;
- сортові;
- слябові.

Блум – це металева заготовка квадратного перетину, кути якого заокруглені розміром 140-450 мм. В світі прокочують лише 18 розмірів блюмів.

Радіус заокруглення кутів становить 20-60 мм.

Допустимі відхилення по стороні квадрата  $\pm 5-10$  мм. По довжині блюми виготовляють від 1 до 6 м.

Сортова заготовка - продукт металургійного виробництва у вигляді сталевій заготовки прямокутного, квадратного або круглого перетину (максимальний розмір меншої сторони не більше 180 мм), отриманої при розливанні на МБЛЗ або шляхом прокатки зі злитка на блюмінгу. Сортова заготовка використовується в якості вхідної заготовки для прокатки на різні профілі (коло, квадрат, швелер, двотавр та ін.).



Сортіві



Слябові

Сляб – металева заготовка прямокутного перетину, її товщина складає 100-250 мм. Радіус заокруглення кутів допускається до 30 мм. Всього по товщині існують 21 профіль (з градацією 5 мм при товщині 100-145 мм і 10 мм при товщині 150-

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
15							15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			



250 мм). По ширині сляби поставляють розміром 300- 2000 мм (з градацією 20 мм при ширині до 700 мм і з градацією 50 мм при ширині до 700 мм). Допустимі відхилення по товщині слябів  $\pm (4-5)$  мм, по ширині  $\pm 10$  мм. По довжині сляби виконують в межах від 1300 до 5000 мм. Надалі сляби перекочують на листи та смуги.

Процес виготовлення листових заготовок (див. рис. 1.1) полягає в циклічному процесі розливу, охолодженні та кристалізації металу. Розглянемо процес виготовлення заготовки:

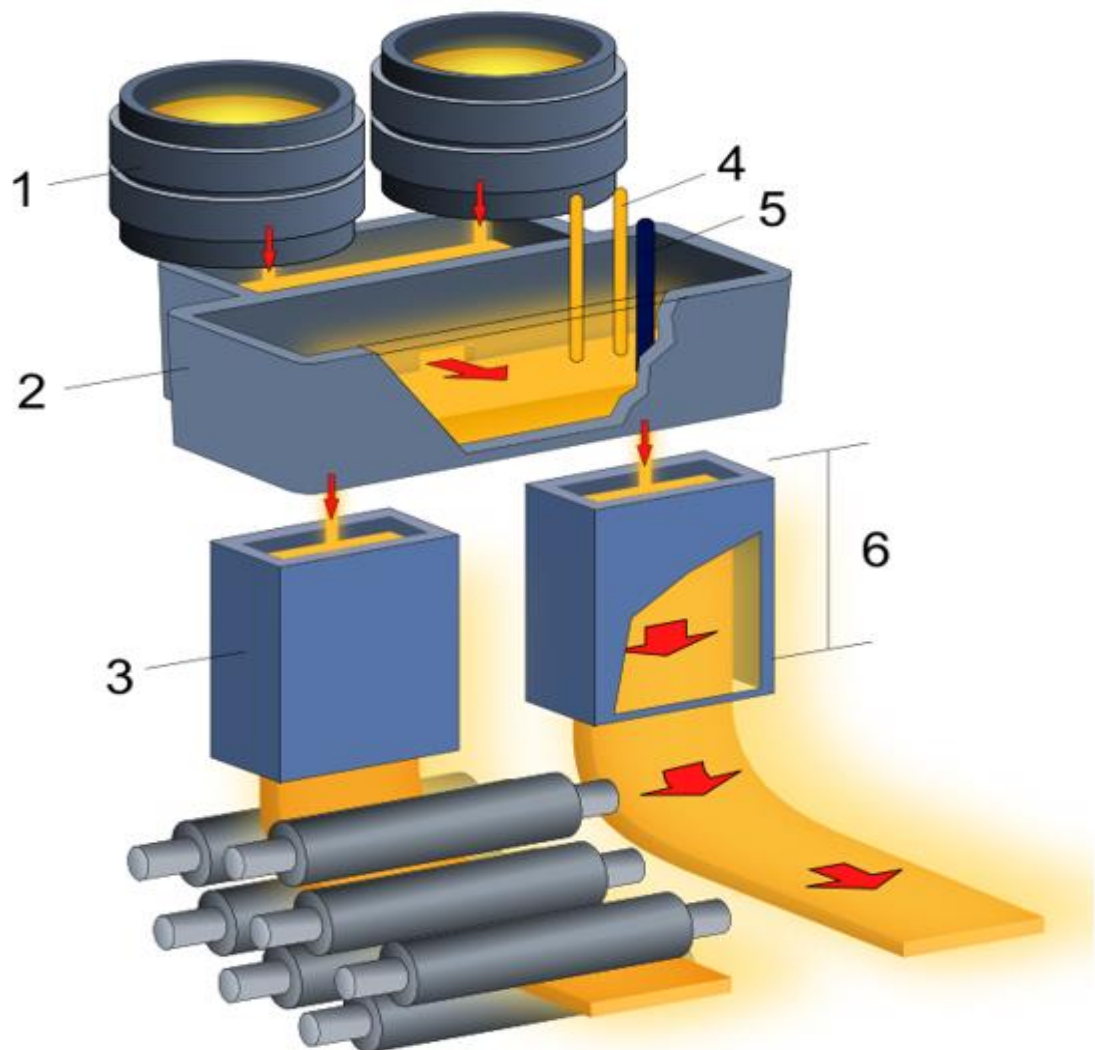


Рис. 1.1 – Схема безперервного розливання сталі.

1 – Сталерозливна посудина (ківш), 2 – проміжний ківш, 3 – мідний кристалізатор, 4 – Нагрівальний пристрій для підтримки температури, 5 – стопор, 6 – зона первинного охолодження і початку кристалізації.

Перш ніж подати струю рідкого металу до кристалізатора, виконуються перевірочні роботи та наладку приладів, після чого у кристалізатор вводиться затравка, яка має однаковий поперечний переріз з заготовкою і слугує дном для перших порцій металу. Далі розпочинається подача рідкої сталі з сталерозливного ковшу у верхню частину кристалізатора, який охолоджується водою. Рідкий метал постійно стікає, тому з часом злиток збільшується. Для покращення якості поверхні заготовки та стабілізації процесу, рівень металу контролюється та підтримується постійним. У місцях контакту кристалізатора з рідкою сталлю утворюється скоринка, яка не дає металу текти дали, тому кристалізатору надають зворотно-поступальний рух з певною амплітудою [3].

Після отримання заготовкою форми, вона витягується за допомогою роликів які швидко доставляють її до зони вторинного охолодження. У цій зоні за допомогою форсунок, проводиться поверхнєве охолодження, заготовка твердіє по всьому перетину. Використовуючи такий спосіб, ми можемо отримати заготовки необмеженої довжини. Також такий спосіб дозволяє зменшити витрати металу на 15-20% , шляхом зменшення обрізків кінців заготовок. За допомогою цієї технології досягається рівномірність структури злитка по всій довжині.

Такий процес називають неперервним, адже постійна зміна промислових ковшів, які вміщують в себе 350 тон металу, відбувається за рахунок поворотного стенду МБЛЗ, який розвертає на 180 градусів положення розливки. За одну плавку ми отримаємо 10-13 слябів, а таких плавок за день роблять 35-36.

## 1.2 Кристалізатор

Кристалізатор – мідна, порожниста зсередини посудина, певної геометричної форми, яка не має дна. Установка, яка служить для перероблення матеріалу з розплавленого стану у твердий продукт певної форми. Затвердіння розплавленого матеріалу відбувається шляхом його охолодження до температури кристалізації.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
17						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

Кристалізатор МБЛЗ працює як теплообмінник, задачею якого є швидке відведення тепла від сталі, що проходить через нього.

Представлений промисловий кристалізатор слябової машини безперервного лиття заготовок (див . рис. 1. 2), сталь в який подається шляхом спеціального розливного ковша.

При контакті розплавленого металу з кристалізатором в області контакту утворюється скоринка, це відбувається за рахунок охолодження металу, адже мідь у кристалізаторі має добру теплопередачу. При процесі формування твердої скоринки можливе прилипання металу на поверхню кристалізатора. Це негативно впливає на якість металу, бо в кінці виникає напруження розтягу, які виникають під час витягування заготовки з кристалізатора.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
18							18
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат			

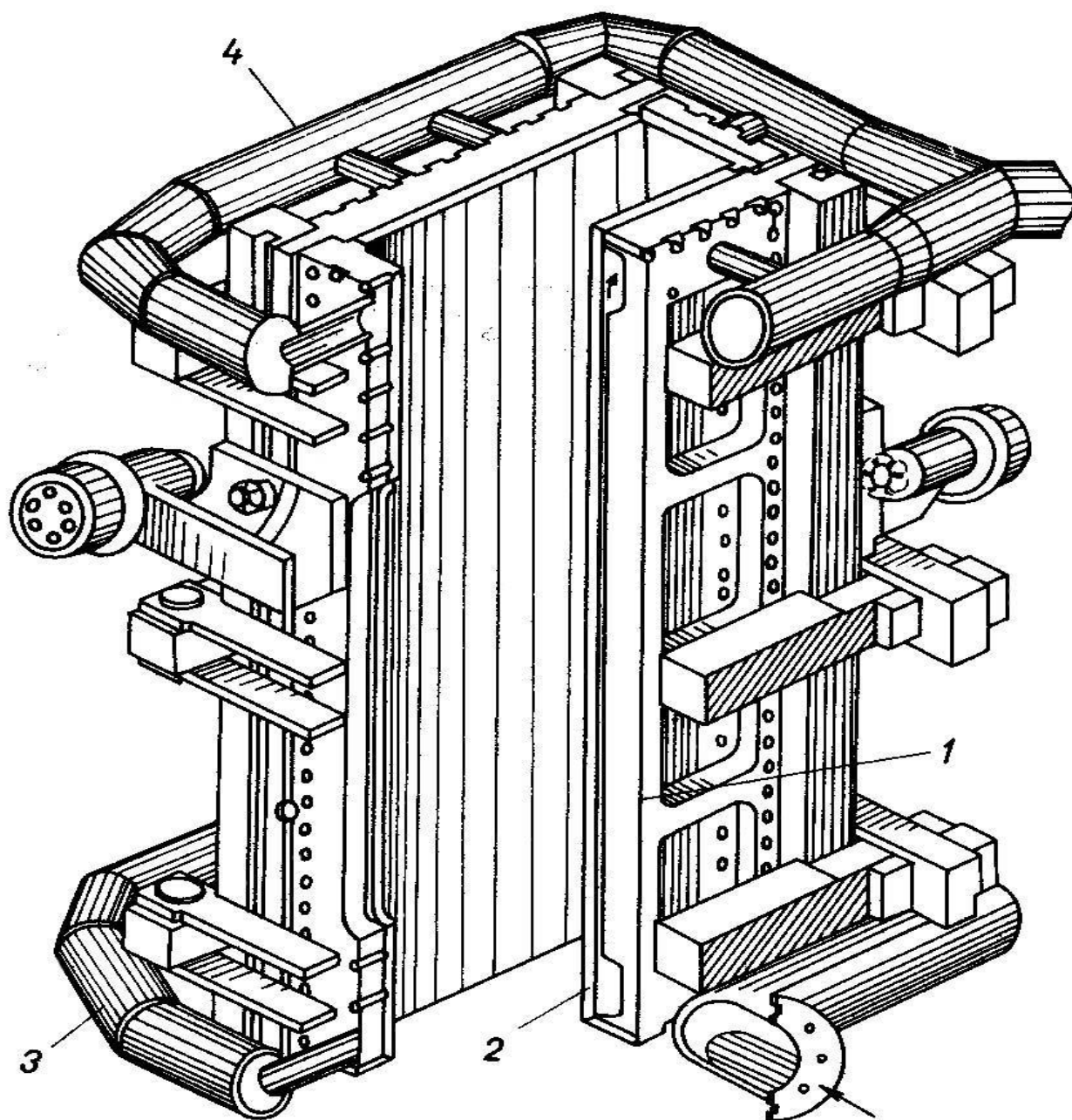


Рисунок 1.2 Кристалізатор слябової МНЛЗ

1 – сталевий кожух; 2 – внутрішня мідна стінка; 3 – підвідний воду патрубок; 4 – відвідний воду патрубок

Щоб запобігти прилипанню та подальшому розриву новоутвореної тонкої кірки кристалізатор піддають зворотно поступальному руху вгору-вниз у напрямку ходу заготовки. Цей процес відбувається внаслідок роботи механізму хитання який приєднано до кристалізатора.

Через те, що кристалізатор виконується з міді, яка піддана дифузії, виникає брак – тріщини на поверхні злитку. Для зменшення зносу мідної стінки кристалізатора, використовують нанесення захисного покриття. В кінці XX століття для захисту стінок активно застосовували хромові та нікелеві покриття. Нікель може наноситися різними способами і товщиною, має близьким до міді коефіцієнтом теплопередачі. У XXI столітті розпочалось активне впровадження технології газотермічного напилення. При газотермічному напиленні використовують керамічне та металокерамічне покриття. Ці покриття дозволяють забезпечити ще кращий захист поверхонь кристалізатора.

Розроблено методи високошвидкісного газопламенного напилення покриттів, які дозволяють нанести металокерамічні матеріали з чудовими протиерозійними характеристиками і хорошою теплопередачею. Газотермічні покриття має сенс наносити на всю робочу поверхню кристалізатора. Через меншого коефіцієнта теплопровідності металокерамічних покриттів стає можливим зменшити і більш точно контролювати швидкість охолодження меніска. Такий тип охолодження часто називають «м'яким», і він дозволяє забезпечити більш рівномірне формування злитка і більш рівномірний профіль температури, що позитивно впливає на продуктивність кристалізатора і якість лиття [3].

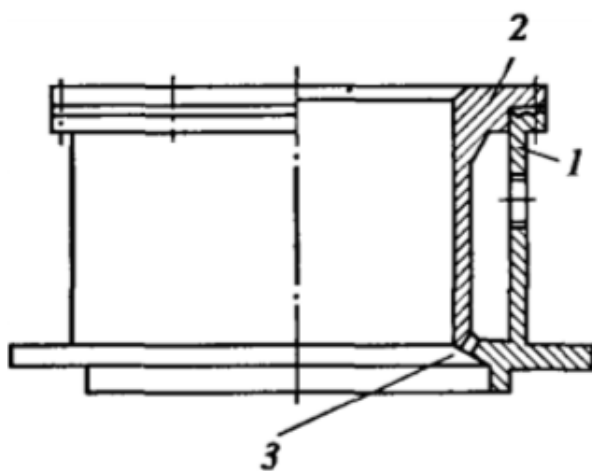


Рисунок 1.3 Корпусний кристалізатор ковзання

Також на машинах безперервного лиття заготовок, використовуються корпусні кристалізатори (див. рис. 1.3), які призначені для злитків з круглим поперечним перерізом з алюмінієвих сплавів. Він складається з гільзи 2 і скріпленого з нею корпусу 1, в порожнину між якими подають воду, яка охолоджує заготовку. Через щілину 3 між низом гільзи і корпусом

на злиток подається вода, яка змінює систему вторинного охолодження. Корпус і гільзу виготовляють з алюмінієвих сплавів, внутрішню поверхню гільзи полірують.

Висота кристалізаторів для відливу злитків з алюмінію і його сплавів становить 120-200 мм, швидкість розливання 0,03-0,2 м / хв.

Для лиття магнієвих сплавів застосовується схоже з вище вказаним корпусним кристалізатором, висота становить 200-270 мм. Відливають круглі злитки діаметром 250-280 мм та прямокутні з розмірами 160 x 550 до 300 x 900 мм.

Для лиття алюмінію застосовують електромагнітні кристалізатори. Елементами такого кристалізатора є – екран 1, охолоджуючий одновитковий індуктор 2, який виконано з мідної трубки прямокутного перетину, корпус 3, кільцевий охолоджувач 4.

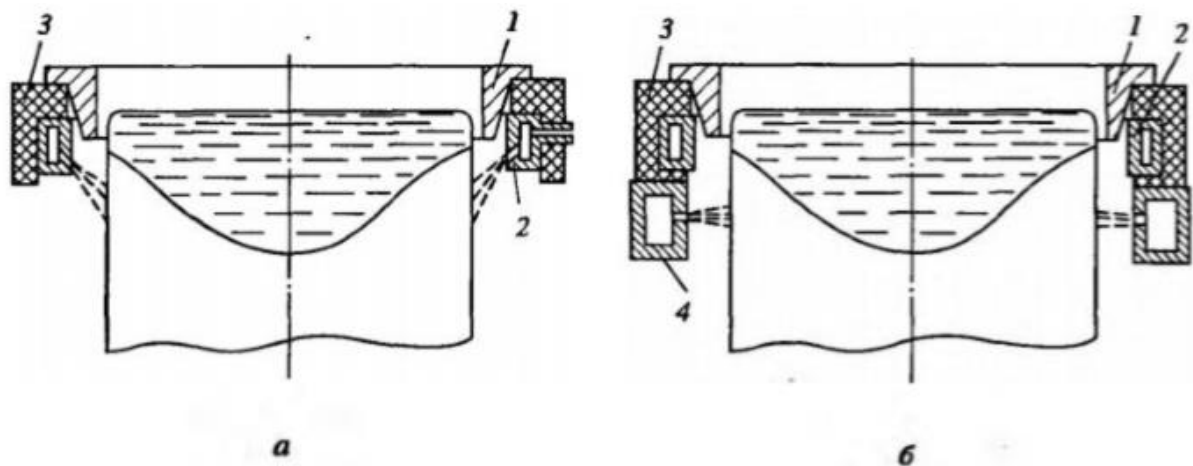


Рисунок 1.4 Електромагнітний кристалізатор.

### 1.3 Хитання кристалізатора і вплив його параметрів на формування заготовки

Початок процесу утворення твердої скоринки при безперервній розливці сталі відбувається у вигляді часткового охолодження меніска в області контакту рідкого металу з кристалізатором (аж до появи твердої фази). Як показує практика, в процесі формування твердої скоринки може спостерігатися явище її прилипання до

поверхні кристалізатора. В цьому випадку в скоринці виникають напруження розтягу, які викликаються рухом (витягуванням) заготовки з кристалізатора. В кінці, в твердій скоринці виникають розриви, які потім можуть призводити до проривів і витікання стали під кристалізатором [4].

Запобігання прилипання і подальшого розриву утвореної тонкої скоринки під час переміщення – є однією з головних задач роботи механізму хитання. При розриві твердої скоринки, внаслідок прилипання, її частина, яка розташована недалеко від дзеркала рідкої сталі, зчіплюється зі стінкою кристалізатора і відділяється від рухомої вниз скоринки (див. рис. 1.5, 1). В місце утвореного розриву попадає рідкий метал, який при затвердінні вже не встигає утворити достатньо міцну та товсту скоринку (див. рис. 1.5, 2). Таке з'єднання є неміцним і може руйнуватися при русі злитка у кристалізаторі (вид. рис. 1.5, 3, 4) та при виході з нього (див. рис. 1.5, 5).

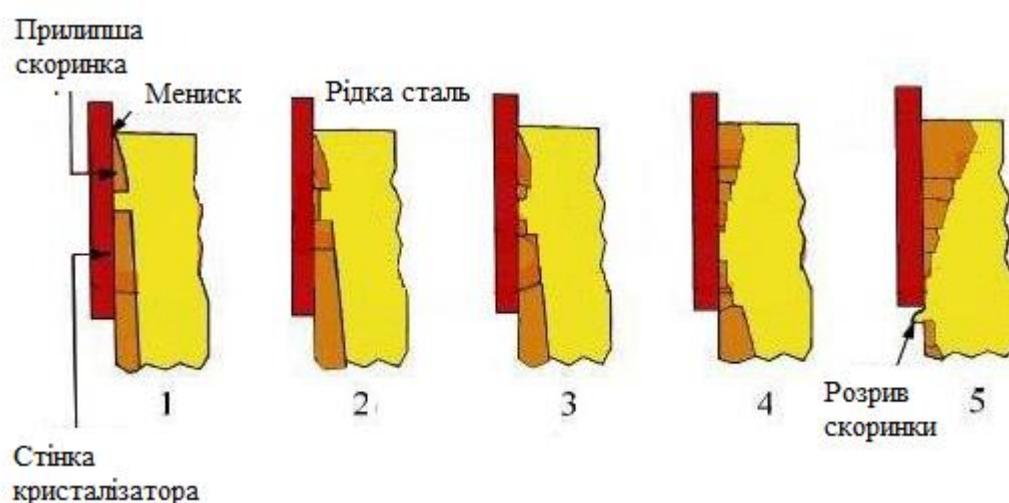


Рисунок 1.5. Схематичне представлення механізму утворення прориву під кристалізатором внаслідок прилипання і руйнування скоринки.

В даний час широко застосовується, як критерій оцінки зворотно-поступального руху кристалізатора, час «заліковування» можливих надривів від зависань оболонки злитка. За час «заліковування» приймається тривалість руху кристалізатора у напрямку витягування злитка зі швидкістю, рівною або більшою швидкості руху злитка. Для надійного «заліковування» можливих обривів

оболонки злитка необхідно, щоб час опускання кристалізатора зі швидкістю, який дорівнює або є більшим за швидкість витягування злитка, дорівнювало часу, протягом якого в місці обриву знову утворюється досить міцна оболонка. Слід зазначити, що термін час «заліковування» не вірно відображає суть параметра, так як розриву оболонки може і не статися (так само як і «заліковування» за певних умов). Правильніше говорити про час «випередження» кристалізатором злитка.

Процес формування оболонки складається з періодично повторюваних процесів утворення опуклого меніска і переливання рідкого металу через край затверділої оболонки.

На думку деяких дослідників, при наявності зворотно-поступального руху кристалізатора складка утворюється трохи нижче меніска металу в результаті розриву оболонки злитка при русі кристалізатора вгору і подальшого заварювання утвореного розриву при русі кристалізатора вниз, причому наступний розрив може утворитися тільки вище залікованого.

Вважають, що, поки сила, прикладена до кристалізатору менше зусилля витягування, прослизання не відбувається, а коли сила досягає цієї величини, відбувається одночасно прослизання оболонки по всій висоті кристалізатора.

При безперервному розливанні зі збільшенням зусиль витягування збільшується зона відносного прослизання оболонки злитка, при досягненні максимального зусилля починається обмежене ковзання оболонки щодо стінок кристалізатора.

Узагальнюючи відомі результати, можна припустити наступну схему утворення складок на поверхні злитка, обумовлених зворотно-поступальним рухом кристалізатора за синусоїдальним законом. При русі кристалізатора зберігається принципова схема формування поверхні злитка, що відливається у виливницю, але утворення складки (затока рідкої сталі за оболонку) визначається не співвідношенням сил поверхневого натягу на меніску і феростатичного тиску, а силовим впливом руху за певним законом кристалізатора. При русі кристалізатора



відбувається періодичне розтягування і стискання оболонки з різною інтенсивністю. Під час руху кристалізатора вгору з будь-якою швидкістю і вниз зі швидкістю, меншою швидкості витягування злитка оболонка розтягується, а при русі кристалізатора вниз зі швидкістю більшою за швидкість руху злитка, оболонка стискається. У розглянутому процесі складкоутворення при зворотно-поступальному русі, хід кристалізатора повинен бути більше, ніж підйом закристалізованого меніска над рівнем металу. В іншому випадку умови початкового формування оболонки злитка при кожному циклі руху кристалізатора будуть різними, так як прослизання оболонки щодо стінок кристалізатора при деяких циклах буде відсутнім. Є безперечним, що сліди осциляції з'являються тільки тоді, коли на лінійну, тобто постійну в часі, швидкість витягування злитка накладається друга швидкість, закономірно змінюється у напрямку.

Хід відносного руху і відносної швидкості можна розбити на дві фази. У першій фазі затверділа скоринка злитка зісковзує в напрямку розливання по стінці кристалізатора: відбувається позитивне роздягання злитка. У другій фазі, затверділа скоринка злитка ковзає по стінці кристалізатора в напрямку, протилежному напрямку розливання: відбувається негативне роздягання злитка.

Негативне роздягання злитка називають також фазою осади або самолікування, в чому визначається значення цього процесу. Під час негативного роздягання скоринка злитка отримує вплив не розтягуючого, як це спостерігається при позитивному роздяганні, а стискаючого зусилля, так що в результаті тертя між стінкою кристалізатора і скоринкою безперервно-ливої заготовки може відбуватися осад. Виникаючі в цьому випадку дефекти можуть самозаліковуватись. Аналіз залежностей відносного переміщення і відносної швидкості від часу розливання показують, що на різних частотах хитання при інших незмінних умовах вищеназвані залежності мають явні відмінності. При досить низьких частотах хитання кристалізатора виявляється, що навіть при незначних коливаннях частоти хитання кристалізатора час негативного роздягання різко змінюється. Якщо

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
24						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

частота незначно знижується, то негативне роздягання може зникнути повністю, а якщо частота незначно збільшується, то час негативного роздягання різко зростає. Скорочення часу негативного роздягання злитка з підвищенням частоти хитання показує, що при дуже високих частотах хитання вплив швидкості розливання на час негативного роздягання стає вельми незначним. Незалежно від швидкості розливання час негативного роздягання при подальшому підвищенні частоти хитання безперервно зменшується, асимптотно наближаючись до нуля, тобто з підвищенням частоти хитання час негативного роздягання зменшується, а довжина шляху негативного роздягання постійно зростає.

Явище прилипання, можна мінімізувати в такому випадку, коли зусилля тертя між поверхнею заготовки та стінками кристалізатора є нижчим за певний критичний рівень розриву. Цей рівень визначається в залежності від міцності скоринки. Проаналізувавши процес тертя заготовок у кристалізаторі, можна зробити висновок, що сила тертя на пряму залежить від марки розливної сталі. Цю залежність можна виразити як коефіцієнт тертя від вмісту вуглецю. Сталі, які містять 0,06% С, входять до високого рівня тертя при литті. Мінімальна сила тертя виходить при вмісті вуглецю в межах 0,08 – 0,12%. При збільшенні вмісту вуглецю, сила тертя – збільшується. Також є леговані сталі, при додаванні до сталі кремнію, сила тертя зростає, а при додаванні марганцю – зменшується.

Для зменшення сили тертя, також використовують спеціальні технологічні мастила. Мастило знижує зусилля опору витягування заготовки в 1,5 – 2,5 рази. При цьому всьому, велике значення має правильна подача мастила в кристалізатор та величина активної поверхні тертя, товщини плівки мастила між компонентами тертя і від мастильної в'язкості. Рідка суміш або залишки продуктів згорання масла заповнюють зазор між скоринкою злитка і стінкою кристалізатора, що зменшує величину тертя. Зниження ймовірності прилипання скоринки до стінок кристалізатора, також досягається за рахунок надання кристалізатору зворотно-поступального руху з певною частотою і амплітудою.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
25						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Основний ефект від хитання кристалізатора був досягнутий тільки в 50-і роки минулого століття за рахунок вибору таких параметрів осциляції, при яких в певні періоди часу кристалізатор, рухаючись в тому ж напрямку, що і заготовка, обганяє її. Цей відрізок часу називається періодом негативного роздягання злитка (negative strip time) або часом випередження [4].

Іншим важливим кроком модифікації параметрів хитання, є перехід до синусоїдального закону руху кристалізатора. Вважається, що вперше в світовій практиці синусоїдальний закон коливань застосували на двох російських МБЛЗ Новолипецького металургійного комбінату для розливання слябів ще в 1959 році. Схема реалізації синусоїдального закону хитання кристалізатора представлена на рисунку 6. Для реалізації цього закону хитання кристалізатора використовується електропривод [4].

Аж до останніх 10-15 років синусоїдальний режим коливань розглядався як стандартний режим, що застосовується практично на всіх МНЛЗ. Це пояснюється тим, що його модель досить проста в реалізації і має переваги менших моментів інерції і менших ривків прискорення (величина зміни прискорення в часі).

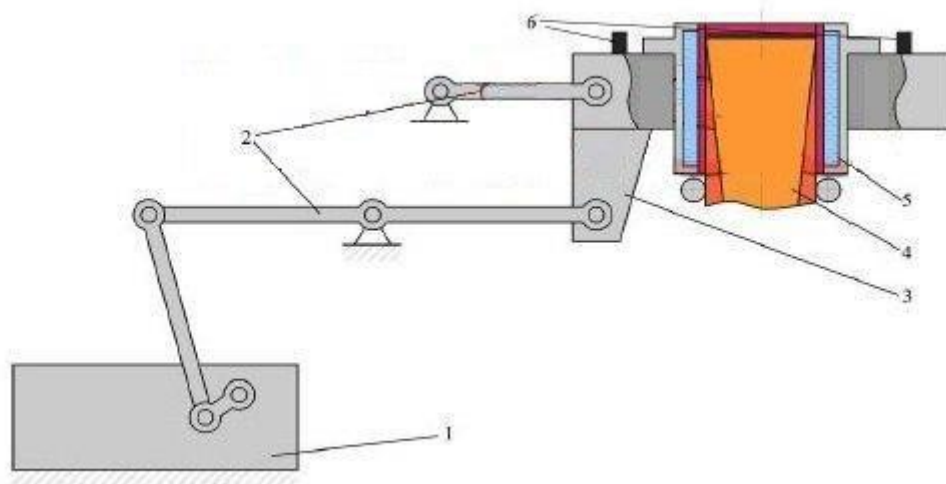


Рисунок 1.6. Схема електромеханічного приводу механізму хитання кристалізатора (синусоїдальні руху): 1 – привід механізму хитання; 2 – система важелів; 3 – стіл

хитання кристалізатора; 4 – безперервно-лита заготовка; 5 – кристалізатор; 6 – місця установки акселерометрів для контролю параметрів хитання.

Для синусоїдального закону хитання кристалізатора, розрізняють два критерії вибору параметрів хитання:

- Час випередження  $\tau_N$ , яке визначається за формулою.
- Індекс випередження, який встановлюється співвідношенням між середньою швидкістю руху кристалізатора  $V_m = 2hf$  ( $h$  – величина ходу кристалізатора за один цикл хитань;  $f$  – частота коливань) і швидкістю розливання  $V_c$ .

$$\tau_N = \left( \frac{1}{\pi * f} \right) * \arccos * \left( \frac{-V_c}{\pi * f * h} \right), \text{ де } V_c - \text{швидкість витягування (розливання) заготовки;}$$

Формула справедлива за умови точного дотримання геометрії заданого руху кристалізатора і сталості швидкості руху злитка. Однак на практиці закони руху кристалізатора і злитка часто спотворюються в результаті деформації рами хитання, поздовжньої податливості злитка і падіння частоти обертання приводів механізму хитання і витягування злитка при зміні навантажень. Навіть при невеликих відхиленнях по переміщенню від заданої траєкторії руху, що виникають при цьому, амплітуди збурення швидкості можуть бути значними, і нехтувати ними не можна.

В наші часи основна частка нових і модернізованих МБЛЗ оснащуються кристалізаторами з гідроприводами, за допомогою яких, здійснюється несинусоїдальний режим хитань (див. рис. 1.7). За розрахунками науковців зрозуміло, що несинусоїдальний режим хитання, дозволяє істотно підвищити швидкість розливання металу та покращити якість поверхні і підповерхневих шарів заготовки.

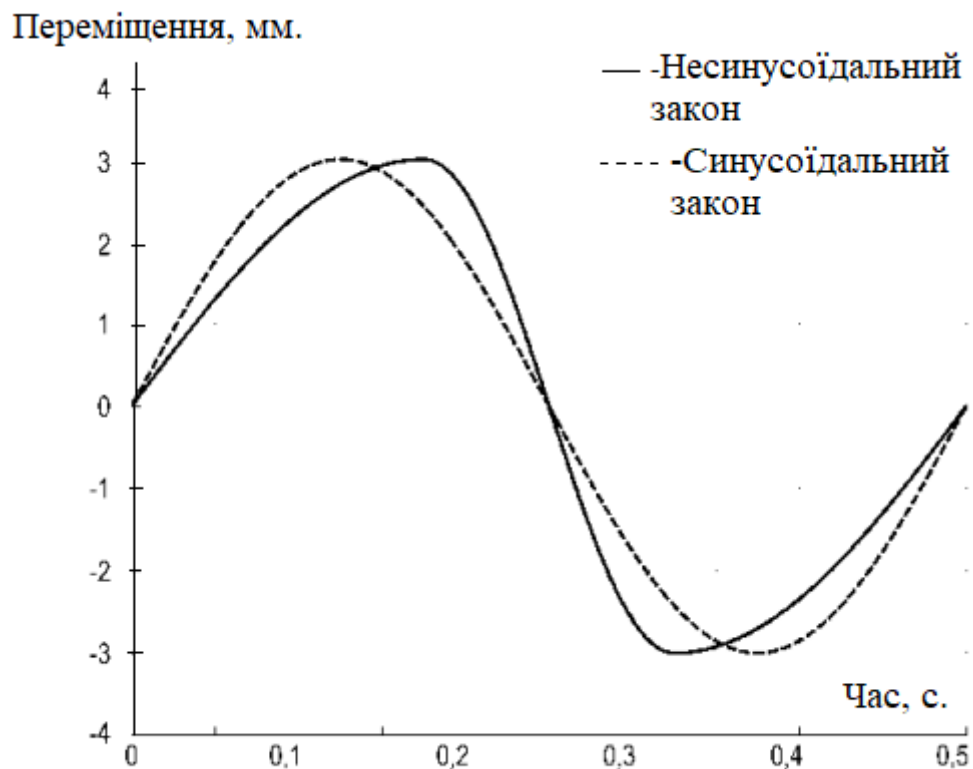


Рисунок 1.7. Графік для синусоїдального і несинусоїдального закону зміни швидкості руху кристалізатора з частотою циклу 2 Гц.

Одними з найбільш поширених дефектів, які виникають на поверхні безперервно-литого злитка, є реброві тріщини (див. рис. 1.8). Зародження ребрових тріщин відбувається в кристалізаторі, а подальший розвиток вони отримують в зоні вторинного охолодження.

Основними причинами, що викликають появу ребрових тріщин на слябах є:

- незадовільна робота механізму хитання кристалізатора;
- розбіжність осей кристалізатора і першої секції зони вторинного охолодження, а також незадовільна настройка технологічної осі МБЛЗ.
- переохолодження поверхні сляба в районі кутів, особливо в зоні розгинання сляба.

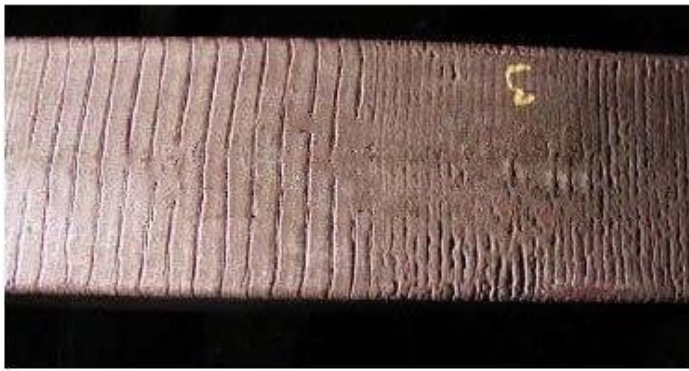


Рисунок 1.8. Характер розташування слідів хитання на поверхні заготовки для двох різних режимів хитання.

В джерелі [8] у главі «Дефекти слябів і методи їх усунення» йдеться про те, що в разі виникнення поперечних кутових тріщин необхідно перевірити стан МХК, порожнини кристалізатора, розташування форсунок, і відповідність витрат води

вторинного охолодження.

Зараз на підприємствах використовується два види МБЛЗ: сортову та слябову. На рис. 1.9 представлена функціональна схема системи управління механізмом хитання сортової МБЛЗ. Складовими елементами системи хитання є: кристалізатор, гідроциліндр, сервоклапан, система управління. Кристалізатор встановлений на рухомій рамі, підтримуваної з одного боку штоком гідроциліндра, з іншого боку – пневмобуфером. Траєкторія руху кристалізатора визначається переміщенням штока гідроциліндра.

Генератор сигналу, що входить до складу системи управління хитанням, задає сигнал руху кристалізатора по заданому закону. Параметри хитання вибираються для кожного нового циклу з урахуванням поточної швидкості розливання металу, вихідної форми хитання (синусоїдальний або несинусоїдальний).

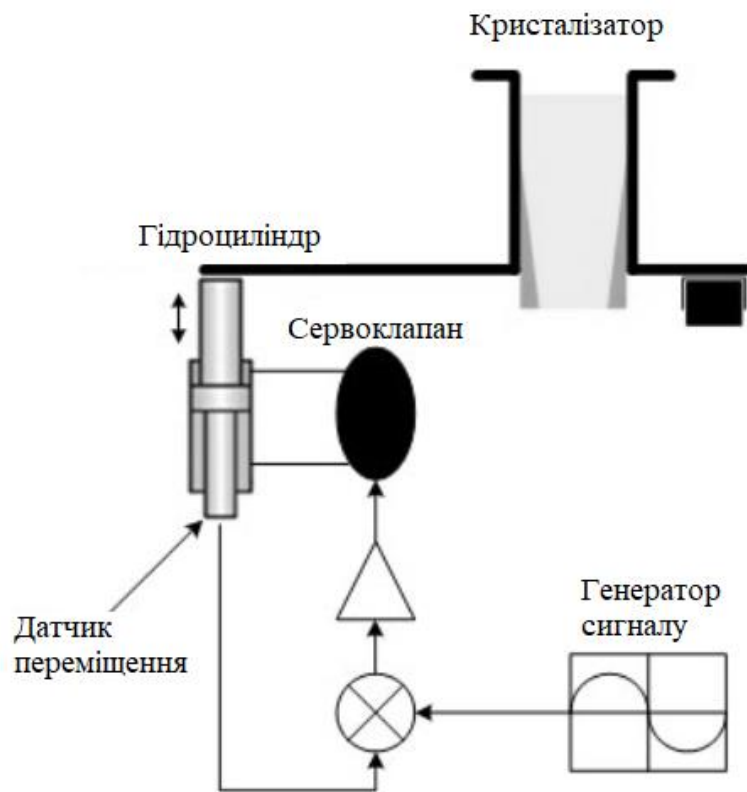


Рисунок 1.9. Функціональна схема системи управління механізмом хитання сортової МБЛЗ.

Відстежуючи переміщення штока гідроциліндра, проводиться постійна корекція керуючого сигналу на сервоклапані з метою виведення кристалізатора в задану позицію. Таким чином, система управління дозволяє швидко змінювати параметри хитання кристалізатора в процесі розливання металу в залежності від поточної зміни заданих технологічних параметрів [6, 7].

Аналогічним чином вирішується завдання управління хитанням кристалізатора, слябової МБЛЗ (див. рис. 1.10). Однак конструктивні особливості механізму хитання призводять до модернізації системи управління хитанням. На рис.9 представлена функціональна схема системи управління механізмом хитання слябової МБЛЗ [6, 7].

Кристалізатор слябової МБЛЗ приводиться в рух, двома гідроциліндрами, які розташовані по обидва боки рухомої рами, тому виникає завдання узгодження руху штоків гідроциліндрів по обидва боки з метою того, щоб кристалізатор перебував у рівному положенні і не нахилився в різні боки. Синхронна робота

ДП ПМ-61 07.000.ПЗ					30
30					
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат	

обох механізмів забезпечується за рахунок блоку узгодження амплітуди і фази коливань. На основі даних зібраних з переміщення штоків, вираховуються різниця переміщення та проводиться корекція параметрів генераторів сигналів для кожного з гідроциліндрів [6, 7].

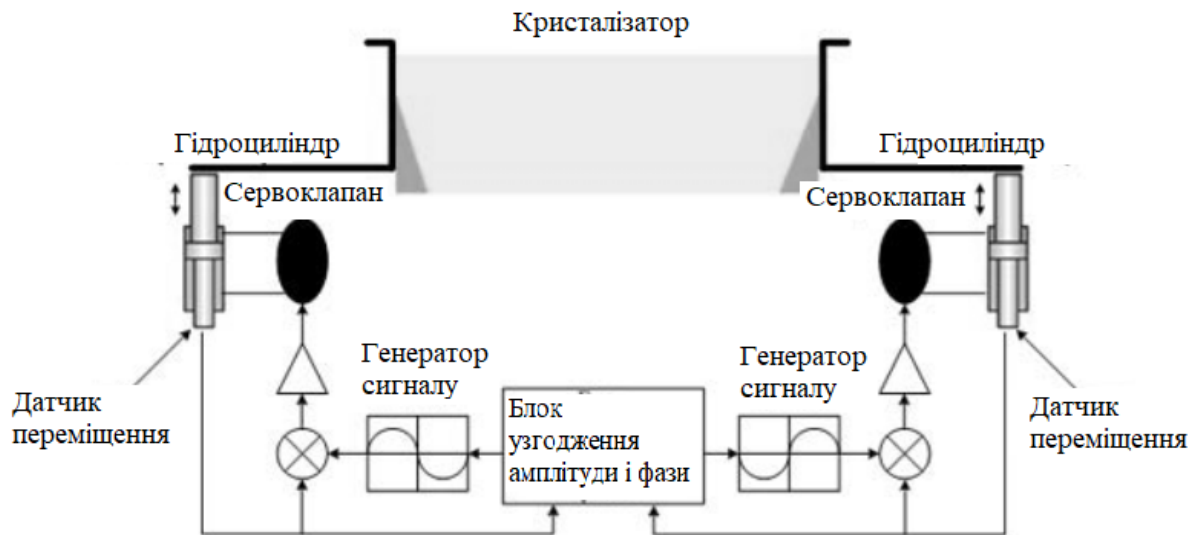


Рисунок 1.10. Функціональна схема системи управління механізмом хитання слябової МБЛЗ.

#### 1.4 Методи і засоби контролю технічного стану механізму хитання кристалізатора

У практиці експлуатації обладнання МБЛЗ особливо гостро стоїть проблема контролю стану механізму хитання кристалізатора, від умов роботи якого, багато в чому, залежить якість безперервно-ливої заготовки. Поява дефектів в налаштуванні і роботі МХК призводить до збільшення ймовірності прориву і розвитку дефектів типу «Рєброва тріщина». Крім удосконалення елементів конструкцій, спрямованого на підвищення стійкості кристалізаторів МБЛЗ, фірмами і дослідницькими організаціями проводяться заходи щодо організації їх раціональної експлуатації і обслуговування. Важливу роль тут відіграє поточний контроль стану механізмів та устаткування. Оцінка робочих характеристик і залишкової довговічності на основі існуючих критеріїв дає можливість оптимізувати терміни заміни та ремонтів кристалізаторів і елементів устаткування МБЛЗ.



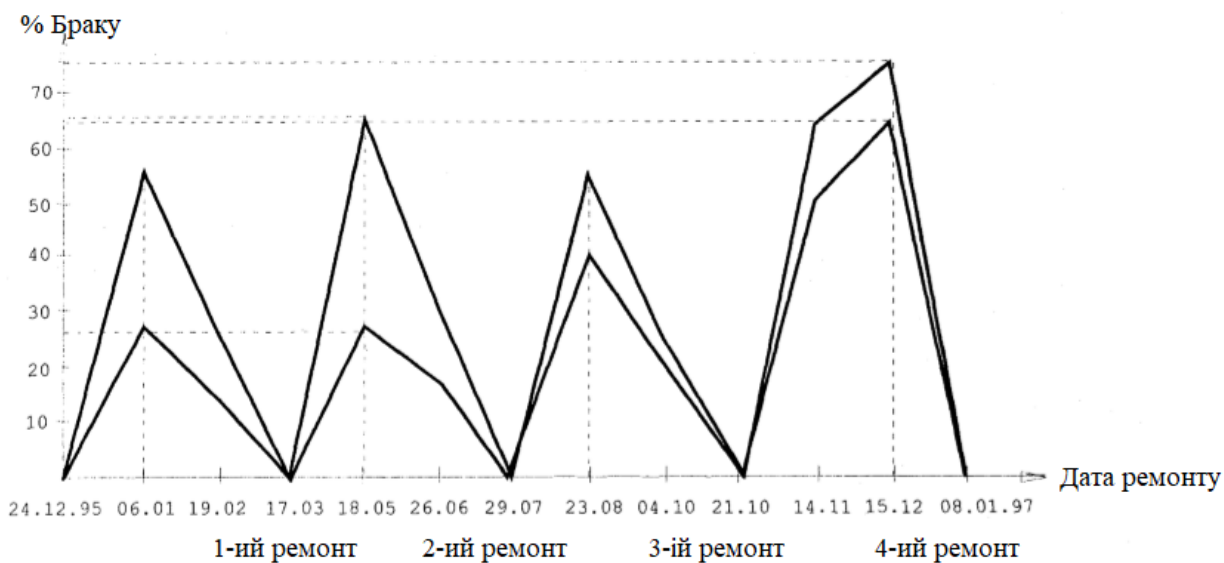


Рис. 1.11 Графік зростання відсортювання по ребровим тріщинах в залежності від кількості плавков по кампанії ММК ім. Ілліча

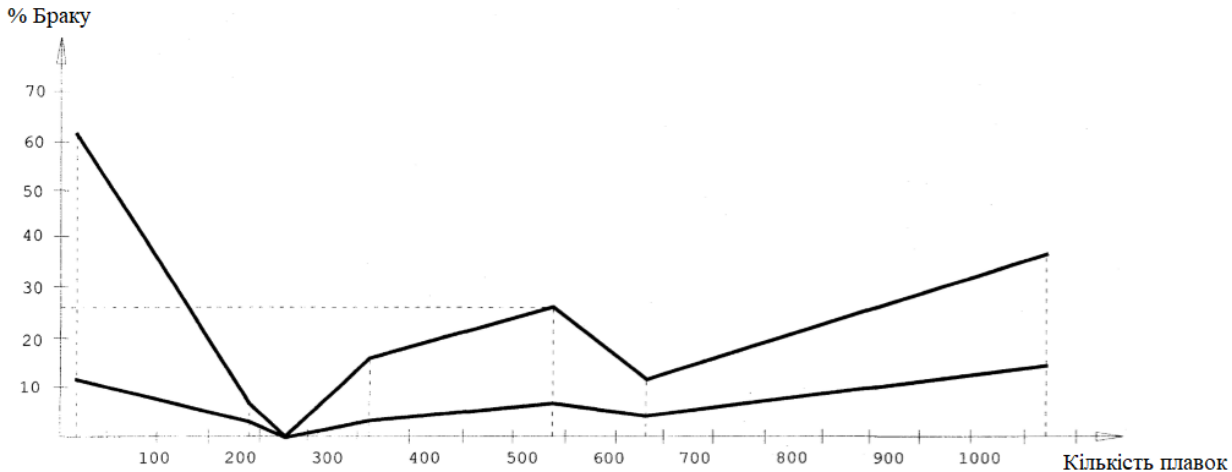


Рис. 1.12 Графік зростання відсортювання по ребровим тріщинах в залежності від кількості плавков по кампанії ММК ім. Ілліча

Існує відомий спосіб автоматичного контролю роботи МХК [9]. Суть методу полягає у вимірюванні зусилля витягування злитка із кристалізатора при його зворотно-поступальному русі і використанні даного сигналу для оцінки його режиму. Характер кривої зміни навантаження на сило-вимірювальний датчик, вбудований в МХК, визначає зусилля, що виникає в парі злиток-кристалізатор. Наявність механічних люфтів супроводжується при підйомі кристалізатора різкою зміною швидкості зміни зусилля витягування. Шляхом порівняння форми кривої

зміни швидкості з еталонної кривої, визначають наявність механічного люфту в кінематичному ланцюгу МХК.

Відомо також пристрій автоматичного контролю механізму хитання кристалізатора [10]. Принцип дії пристрою заснований на принципі порівняння швидкості зміни сигналу з датчика вимірювання зусилля витягування злитка. При швидкості вимірювання сигналу з датчика вимірювання зусилля витягування злитка, близькою до нуля, запускається вимірювач. З виходу вимірювача сигнал обробляється в блоці обробки інформації і порівнюється з максимально допустимою тривалістю зупинки кристалізатора. При сигналі з вимірювача більшому, ніж з датчика, на виході блоку з'являється сигнал логічної «1», який включає сигналізатор. Поява сигналу логічної «1» свідчить про наявність неполадки в кінематичного ланцюга МХК.

Однак використання вищеприписаного способу і пристрою автоматичного контролю стану МХК дають лише можливість виявляти наявність люфту, але не дозволяють визначити його місце розташування, а також провести його ідентифікацію і якісну оцінку.

Визначення поточного положення кристалізатора механічним способом не дає задовільних результатів, зважаючи на низьку роздільну здатність первинного перетворювача (стрілочних індикаторів, тензопретворювачів).

Фірмою CRM (Бельгія), на основі використання пристрою названого M.L.ТЕКТОР, розроблена методика вимірювання траєкторії руху кристалізатора [11]. Пристрій складається з датчика, переважно встановлюється на кристалізатор і електронної апаратури, яка оброблює електронні сигнали. Датчик вимірює миттєве переміщення кристалізатора. Вимірювану величину переміщення виводиться на дисплей оператора. За даними авторів, пристрій дозволяє більш обґрунтовано вибирати різні типи шлакової суміші, стосовно до конкретних умов розливання (марка сталі, швидкість розливання), своєчасно інформувати про

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
33							33
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат			

порушення в процесі розливання шлакового захисту, оцінювати якість роботи МХК, попереджати про можливість прориву.

В якості первинних перетворювачів в пристрої використовуються акселерометри і п'єзоелектричні датчики. Разом з тим складність системи і необхідність перетворення сигналів прискорення кристалізатора до характеристик переміщення є слабким місцем даної системи.

Фірмою «Маннесманн», в системі управління МХК [12], запропонований блок управління хитанням резонансного кристалізатора, який призначений для обчислення необхідних значень згідно, вимог технологічного процесу, а також відповідно до функцій замкнутого і розімкнутого контурів управління. Блок управління складається, в основному, з комп'ютера і мікропроцесорної плати. Параметри різних моделей зберігаються в файлах. При необхідності вказані параметри передаються в блок управління, де, на їх основі, розробляється процес налаштування і контролю вихідних технологічних параметрів.

Таким чином, в даний час при великому виборі розроблених і впроваджених способів і систем контролю технічного стану та умов роботи МХК, відсутні системи, що дозволяють оцінювати якість траєкторії руху кристалізатора – самого представницького і важливого параметра.

Більшість систем дозволяють фіксувати лише факт підвисання кристалізатора і можливість прориву скоринки злитка, але не дають можливості ідентифікувати дефект в сполученнях вузлів МХК, виробляти його якісну оцінку, а також фіксувати наявність дефектів в монтажі і налаштуванні механізму.

### **1.5 Сучасні конструкції механізмів хитання кристалізатора і методики їх розрахунку**

В даний час в літературних джерелах [2-16] описано велику кількість розроблених конструкцій механізмів хитання кристалізатора. Удосконалення конструкцій в основному направлено на зниження металоемності ланок,

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
34						34
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Лат		

поліпшення його динамічних характеристик, поліпшення якості формованої траєкторії руху кристалізатора.

У літературних джерелах [23,24] описаний ряд конструкцій механізмів хитання кристалізатора, які, на думку авторів, дозволяють досягати поліпшеної якості безперервно-литого злитка, шляхом спрощення конструкції МХК і збільшення діапазону регулювання параметрів руху кристалізатора.

Як було зазначено вище, для забезпечення високої якості поверхні злитка необхідно забезпечити рух кристалізатора за фіксованою траєкторією. У ряді робіт [25-28] авторами розроблені конструкції МКК, використання яких, на думку авторів, має підвищити якість безперервно-литого злитка шляхом стабілізації траєкторії руху кристалізатора. В [20] описана конструкція МХК, в якій використовується система підпружинених шарнірів і важелів з метою забезпечення плавності ходу і повної вибірки зазорів в циклі руху кристалізатора.

Існуючі конструкції МХК, які використовуються на реальних МБЛЗ, мають, як правило, великими габаритами, а, отже, значними динамічними навантаженнями. Зниження власної маси і металоємності механізму хитання кристалізатора дозволяє знизити енергоємність приводу [27], поліпшити умови його роботи і знизити ймовірність виходу з ладу підшипникових вузлів. Крім того, такі механізми мають кращу ремонтпридатність. Поруч авторів розроблені конструкції МХК [23,24], в яких поставлена мета досягається шляхом урівноваження системи і зниження навантажень на окремі вузли МХК.

Крім того, відомі конструкції МХК, в яких поліпшення якості безперервно-литого металу досягається шляхом усунення автоколивань кристалізатора [28], а також створення тягового зусилля в кристалізаторі і усунення напруги, що розтягує злиток [29].

Відомо, що синусоїдальний закон руху кристалізатора характеризується малим часом випередження, а отже недостатньо високою якістю поверхні злитка. У зв'язку з цим, поряд автором розроблені конструкції МХК з використанням двох

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
35						35
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат		

приводних ексцентриків [30], а також застосуванням зубчастих і черв'ячних передач [31,32]. При цьому формується двох-синусоїдальний закон руху кристалізатора, який найбільш близький до оптимального і забезпечує високу якість поверхні злитка.

У ряді літературних джерел [33-35] розроблені конструкції механізму хитання кристалізатора, в яких проведена заміна загальноприйнятих шарнірних багатозв'язників, системами з великою кількістю зубчастих і кулачкових передавальних механізмів мають потужні приводи і велику кількість гідравлічного і енергетичного обладнання.

Більшість з цих конструкцій досить громіздкі, тому виникає сумнів щодо можливості їх використання в реально проєктованих МБЛЗ. Більшість існуючих механізмів зворотно-поступального руху кристалізатора не дозволяють регулювати хід в процесі розливання. У цих випадках потрібно встановлювати хід кристалізатора, розрахований для максимальної швидкості витягування, що також забезпечить задовільні умови для появи складок при більш низьких швидкостях. Тому для високопродуктивних УНРС з робочою швидкістю витягування злитка до 1,6 м / хв хід хитання кристалізатора довжиною 1200 мм повинен бути не менше 4-5 мм [36].

Як було зазначено вище, існуючі конструкції МХК не дають можливість роботи на високих частотах хитання і швидкостях розливання, внаслідок великої власної маси окремих вузлів, дії значних динамічних навантажень і нездатності забезпечити рух кристалізатора по траєкторії максимально наближеної до еталонної. Крім того, складна, у багатьох випадках, конструкція знижує ремонтпридатність МХК і ускладнює їх систему планово-попереджувальних ремонтів. В даний час визнаними лідерами в області створення сучасних конструкцій МБЛЗ є фірми: "Маннесманн Демаг АГ" (Німеччина), "Конкаст Штандарт" (Німеччина), "Фест Альпіне" (Австрія) і "Шлемман Зіммаг" (Німеччина).

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
36							36
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Лат			

Фірмою "Маннесманн" розроблена конструкція механізму хитання з установкою резонансного кристалізатора [37]. Несуча рама є основною частиною пристрою і служить для установки секції "О", механізму хитання і столу кристалізатора.

Підйом і опускання кристалізатора і столу здійснюється за допомогою підйомних важелів. Підйомні важелі розташовані поперечно напрямку розливання і встановлені під втулки біля столу. Зворотно-поступальний рух створюється за допомогою ексцентрикових валів, привід яких здійснюється від електричного двигуна через шарнірні вали, конічну зубчасту передачу і муфту. При цьому зворотно-поступальний рух столу здійснюється синусоїдально по радіусу верхньої ділянки машини. У порівнянні з традиційними конструкціями, резонансний кристалізатор, що має систему напрямних плоских пружин і гідравлічний привід хитання, має низку переваг:

- в порівнянні з традиційними конструкціями забезпечується десятикратне поліпшення точності переміщення кристалізатора;
- динамічне регулювання забезпечує постійне випередження;
- динамічне регулювання траєкторії кривої хитання підвищує рівномірність змазування безперервно-литої заготовки;
- істотне зниження інерційної маси покращує динамічні характеристики механізму;
- відмова від швидкозношуваних вузлів, таких як підшипники кочення і редуктора, підвищує ремонтпридатність і спрощують систему технічного обслуговування.

В результаті досягається підвищення надійності управління скороченого ходу і можливість роботи на підвищеній частоті, зменшення глибини слідів осциляції кристалізатора, підвищується термін служби мідних плит і знижується ймовірність проривів.

Фірмою "SMS" розроблена конструкція механізму хитання кристалізатора [38], виконана у вигляді важеля механізму з висунутим стендом. Переміщення кристалізатора відбувається за синусоїдальним законом з радіусом ходу стаціонарної боку. Регульований діапазон висоти підйому кристалізатора в діапазоні від 2 до 8 мм, з частотою від 20 до 200 хит / хв. У механізмі передбачена установка індивідуального приводу з розташованими з двох сторін ексцентриками і штангою. Крім того, фірмою передбачена установка кристалізатора з регульованою шириною перетину від 1100 до 1850 мм. Як показує аналіз існуючих конструкцій МХК, в даний час основною проблемою при проектуванні механізмів є забезпечення рух кристалізатора по чітко фіксованою траєкторії. Досягнення зазначеної мети можливе шляхом динамічного врівноваження механізму і виключення фактів появи резонансу на робочих частотах хитання. Традиційні методи розрахунку кінематичних і динамічних параметрів проектного механізму не забезпечують необхідної точності. Помилки і допущення, які приймаються при розрахунку, в кінцевому підсумку, призводять до неможливості роботи механізмів при великих швидкостях розливання на частотах до 600 хит / хв.

Для оцінки якості виконуваних розрахунків і перевірки адекватності їх реальним умовам експлуатації було проведено аналіз проектної документації МБЛЗ конвертерного виробництва ВАТ "Северсталь" заводу-виготовлювача ВО «Уралмаш» (Р-5622.90.670).

В результаті встановлено, що кінематичний розрахунок МХК виконаний тільки для вихідної ланки виходячи з геометричних міркувань, при цьому, не враховано нерівномірність обертання кривошипа (ексцентрикового валу), а силовий розрахунок виконаний не в повному обсязі. Відсутня дослідження законів руху ланок, з урахуванням доданих сил. Крім того, відсутні розрахунки коефіцієнтів жорсткості (піддатливості) ланок і впливу їх на траєкторії руху, як в статичній, так і в динамічній постановці.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
38						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

Значного розвитку електронно-обчислювальної техніки в останні десятиліття відкрило багато нових можливостей для інженерних дисциплін. Стало можливим моделювання різних фізичних процесів, які раніше могли бути досліджені лише досвідченим шляхом.

Перевагою комп'ютерного моделювання є також і те, що, на відміну від проведення дослідів, воно не вимагає додаткових матеріальних вкладень на створення дослідного устаткування. Однією з найважливіших областей моделювання є структурна механіка, в рамках якої можливі обчислення деформацій, напружень, температур та інших фізичних величин для конструкцій будь-якої складності. Одним з таких числових методів, який грає протягом останніх трьох десятиліть все більше і більше важливу роль, є метод скінченних елементів (МСЕ). Спосіб формулювання завдання, який підходить для вирішення будь-яких проблем, що є основою МСЕ, обумовлює можливість його застосування в будь-яких областях інженерної справи.

В цілому послідовність рішення в МСЕ може бути описана схемою, представленої на рис. 1.14. На початковому етапі геометрична модель даної структури розбивається на поодинокі області (кінцеві елементи). Жорсткі параметри структури описуються після цього матрицями жорсткості окремих елементів, шляхом підсумовування яких виходить загальна матриця жорсткості моделі. Згодом з матриці жорсткості моделі початкових умов і навантажень створюється лінійна система рівнянь, причому загальна матриця жорсткості структури представляє з себе матрицю коефіцієнтів.



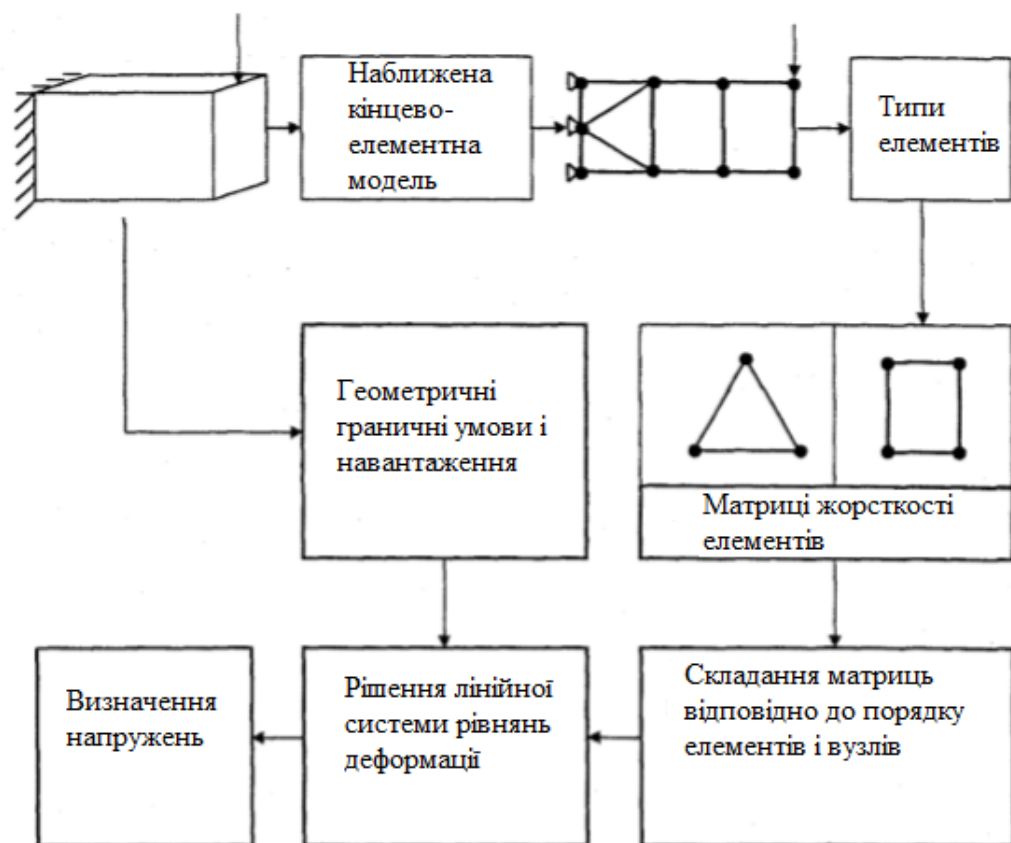


Рис. 1.13 Послідовність рішення в МСЕ.

Невідомими величинами є в цій системі деформації в вузлах, з яких отримують згодом напруги. Різні типи елементів представлені на рис. 15-16, де кожен з них поділений на три стовпці. У лівій частині таблиці (рис. 1.13) представлена форма елемента, причому вузли показані в вигляді точок і позначені літерами. Вузли, представлені у вигляді маленьких кіл є додатковими, тобто їх наявність в моделі необов'язково, однак призводить до підвищення точності результатів, так як збільшує кількість точок обчислення. В середньому стовпці таблиці представлені номери вузлів і їх кількість, яке визначається в першому рядку, а їх номери в другій.

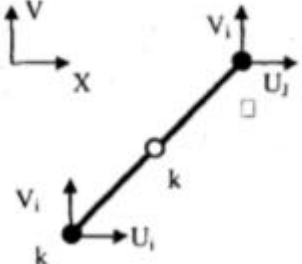
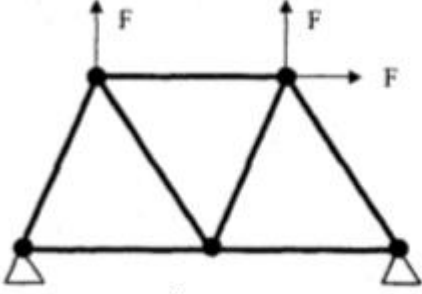
Тип елемента	Приклад використання		
Елемент - стержень  Число ступенів свободи на вузол = 2	 Ферма		

Рис. 1.14 Короткий опис елементів-стрижнів.

У правій колонці таблиці наводяться приклади застосування кожного типу елементів. Для елементів стрижнів це плоска ферма, навантажена кількома силами. Для елементів балок - це плоска рама, напружена силою, розподіленим навантаженням і моментом. Як приклад застосування елементів пластин узятий циліндричний шарнір, навантажений вертикальною силою. Для вузлів повинні бути визначені так звані ступені свободи. Це означає, що поведінка вузла даного елемента може бути описано за допомогою дозволених поступальних пересувань і обертань в декількох напрямках, кожне з яких і називається, в даному випадку, ступенем свободи.

Таким чином, елемент-стрижень, представлений на рис. 1.14, може мати як два вузла  $i$  та  $j$ , так і три вузла  $i$ ,  $j$ ,  $k$ , в іншій версії, при цьому, третій вузол лежить посередині між кінцями стержня, те ж саме дійсно для елементів-балок, представлених на рис. 1.15, основна відмінність яких від стрижнів - наявність додаткової обертальної ступеня свободи  $\phi$ , вузлів.

На рис. 1.15 представлені подальші типи елементів. Зокрема, показані 3-х і 4-х сторонні елементи-оболонки, характерні наявністю 3-х ступенів свободи - поступальної перпендикулярно площині елемента і двох обертальних.

Крім того, існує розширена версія цього елемента, що характеризується наявністю додаткових вузлів I, т, п, які мають лише по два ступені свободи на вузол, а саме прогин і його похідна по нормалі до межі елемента.

Найпростіший чотирикутний елемент-оболонка першого порядку має основну форму чотирикутника, який може бути трансформований в паралелограм, при цьому, кожен вузол має по п'ять ступенів свободи. Восьмикутний, так званий ізопараметричних, елемент може на відміну від чотирьох-вузлові версії мати також вигнуті краї.

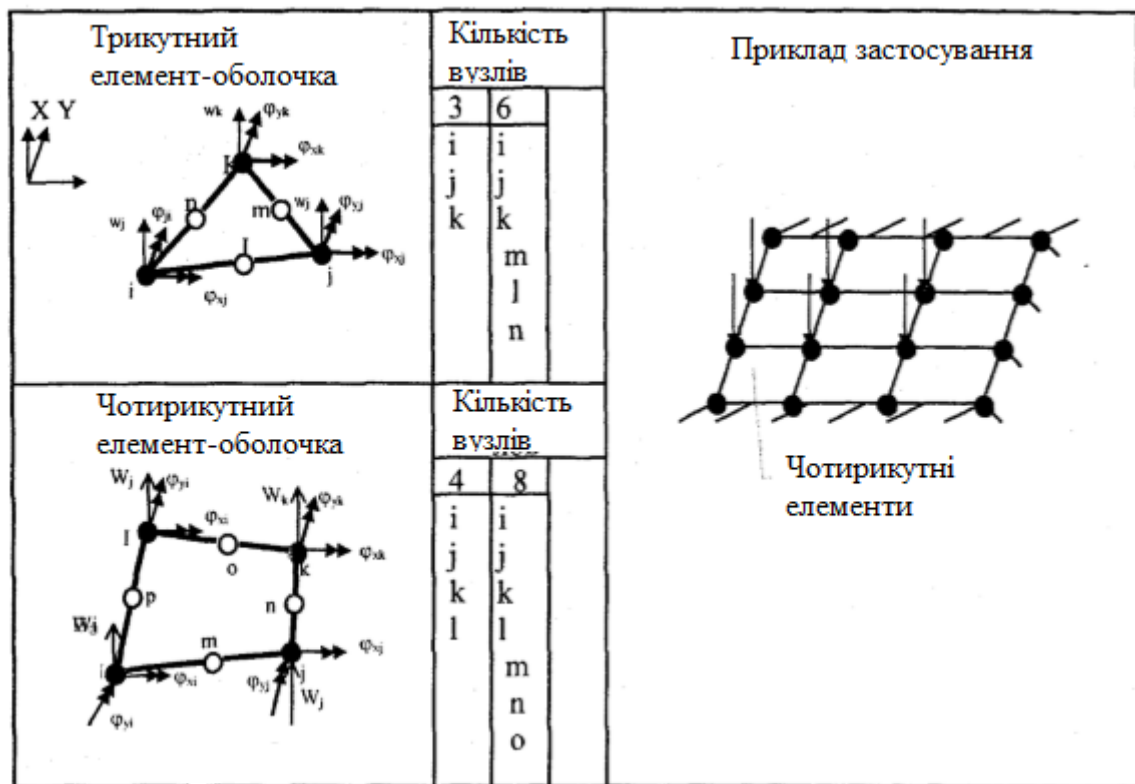


Рис. 1.15 Приклад застосування елементів-оболонок.

Приклад застосування елементів-оболонок першого порядку, показаний на рис. 1.15, представляє з себе пластину з тристороннім закріпленням, що складається з дванадцяти чотирикутних елементів і навантажену окремими силами.

На рис. 1.16 представлені просторові елементи. Вони мають або тетра, або гексаедричну форму.

Кожен вузол такого елемента має по три поступальних ступені свободи. За аналогією з елементами-оболонками можуть вводиться додаткові вузли, розташовані на гранях. У такому випадку число вузлів гексаедричного елемента може доходити до 27, а його ступенів свободи до 81 ( $3 \cdot 27$ ).


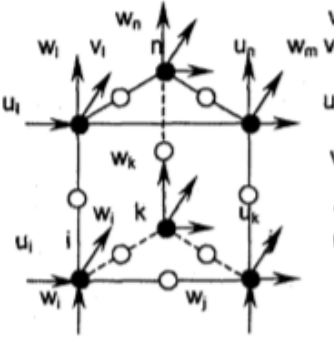
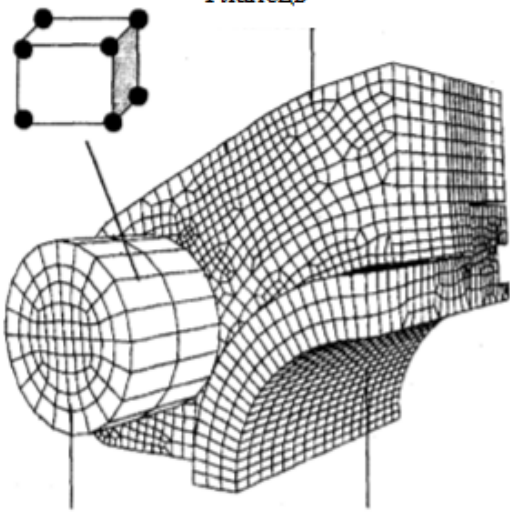
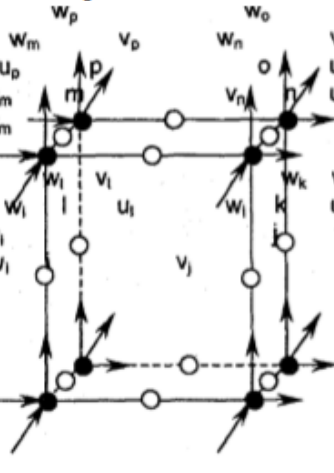
Тип елемента	Число вузлів			Приклад застосування
<b>Тетраедричний елемент</b> 	4	10		
	i	j		
	k			
<b>Пентаедричний елемент</b> 	6	15	24	<b>Просторовий напружений стан</b>  13130 Гексаедричний елемент 48666 ступінь свободи 16222 вузла Гексаедричний елемент    Болт Труба  1/8 фланцевого з'єднання
	i			
	j			
	k			
<b>Гексаедричний елемент</b> 	8	20	32	
	i			
	j			
	k			
	l			
	m			
	n			
	o			
	p			

Рис. 1.16 Типи просторових елементів.

Представлений на рис. 1.16 приклад застосування цього елемента показує 1/8 фланцевого з'єднання. Звичайно-елементна мережу моделі, що складається з трьох тіл: болта, фланця і труби, налічує 13130 елементів і 16222 вузла. Однак не варто вважати, що представлені вище елементи повністю описують арсенал всіх доступних засобів моделювання методом кінцевих елементів. Описані можливості, представляє лише малу частку всього різноманіття, властивого цьому методу. Дані елементи задовольняють практично всі потреби на міцність. Крім них існують також більш спеціалізовані елементи для інших видів аналізу, наприклад електромагнітного або акустичного

Проте, для створення КЕ моделі недостатньо одних елементів, не менш важливими є й інші засоби КЕ моделювання, що представляють, з себе, в основному, не що інше, як накладення будь-яких умов або обмежень на самі елементи або їх вузли.

Наприклад, моделювання закріплень здійснюється шляхом позбавлення опорних вузлів ступенів свободи, причому, що цілком природно, при цьому потрібно узгоджувати власні дії з реальною структурою і намагатися накласти ці обмеження максимально адекватно.

Можна зробити висновок про те, що в даний час при великій кількості різних типів конструкцій МХК, в практиці розрахунку застосовуються, найчастіше, класичні методи, які в результаті введення обмежень і припущень, не дають об'єктивної картини про поведінку об'єкта в робочому циклі руху. Використання під час проектування складних просторових конструкцій на ЕОМ - методу скінченних елементів з пакетом прикладних програм дасть можливість визначати інерційні характеристики механізму і виробляти досить точний динамічний розрахунок. Це дозволить уникнути фактів появи неврахованих динамічних навантажень, резонансу, і, як наслідок, спотворення траєкторії руху кристалізатора.

## 1.6 Розробка математичної моделі кінематики

Механізм хитання кристалізатора криволінійної МБЛЗ являє собою досить складну конструкцію, яка повинна забезпечувати рух кристалізатора по чітко фіксованій траєкторії, радіусом 10 м. У разі, коли кривизна злитка в перших парах роликів відмінна від кривизни траєкторії руху кристалізатора, виникає ефект «підсікання» злитка кристалізатором, при цьому значно підвищується ймовірність виникнення браку на поверхні злитка, перш за все ребрових тріщин. Поява зазорів в підшипникових вузлах і з'єднаннях МХК прямим чином відбивається на характеристиках траєкторії руху кристалізатора, оскільки відбувається зміна геометричних параметрів механізму.

Для аналізу найбільш часто виникають дефектів в МХК була зіставлена еквівалентна кінематична схема (рис. 1.17).

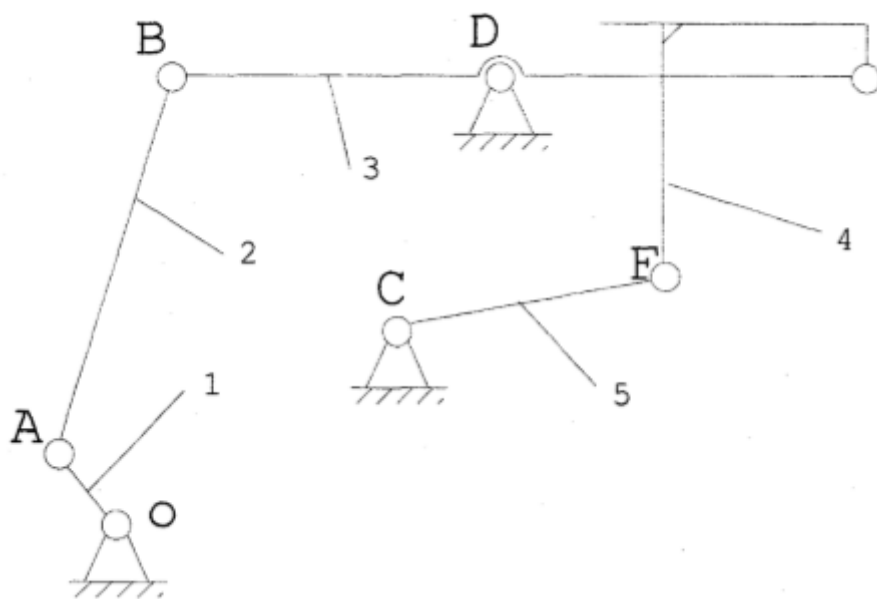
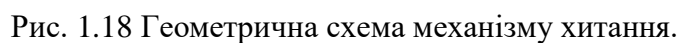


Рис. 1.17 Кінематична схема механізму хитання кристалізатора.

Для знаходження кута  $\varphi_6$  зробимо перетворення кінематичної схеми до виду відповідно до рис. 1.18, замінивши її геометричною схемою.


$$\varphi_4 = \arctg(\frac{l \sin \alpha * l_1 \sin \varphi_1}{l \cos \alpha - l_1 \cos \varphi_1})$$

$$\varphi_3 = \varphi_4 - \arccos\left(\frac{l_3^2 + l_4^2 - l_2^2}{2 * l_3 * l_4}\right)$$

$$\varphi_8 = \arctg\left(\frac{l_9 \sin\varphi_9 + l_3 \sin\varphi_3}{l_9 \cos\varphi_9 + l_3 \cos\varphi_3}\right)$$

$$\varphi_6 = \varphi_7 - \arccos\left(\frac{l_6^2 + l_7^2 - l_8^2}{2l_6 l_7}\right)$$

де:  $l_1$  - довжина ланки ОА, відповідно  $l_2 = AB$ ,  $l_3 = BD$ ,  $l_4 = AD$ ,  $l_5 = DE$ ,

$$l_6 = EF, l_7 = CF, l_8 = CE.$$

$\varphi_6$  – кут між прямими BE та CE ;

$\varphi_7$  - кут між горизонтальною площиною і ланкою CF.

Результати розрахунку кута  $\varphi_6$  на ЕОМ наведені на рис. 1.19 у вигляді кривих змін кута  $\varphi_6$ , в залежності від кута повороту кривошипа. Нормальна робота механізму хитання кристалізатора відповідає кривій 1. Криві 2-5 показують характер руху кристалізатора при різних порушеннях роботи його вузлів, викликаних наступними можливими дефектами:

- крива 2 - знос підшипника, люфт у вузлі А (змiна  $l_2$ );
- крива 3 - знос підшипника, люфт у вузлі Е (змiна  $l_6$ );
- крива 4 - знос підшипника, люфт у вузлі С і F (змiна  $l_7$ );
- крива 5 - знос підшипника, люфт у вузлі О (змiна  $l, l_9$ ).



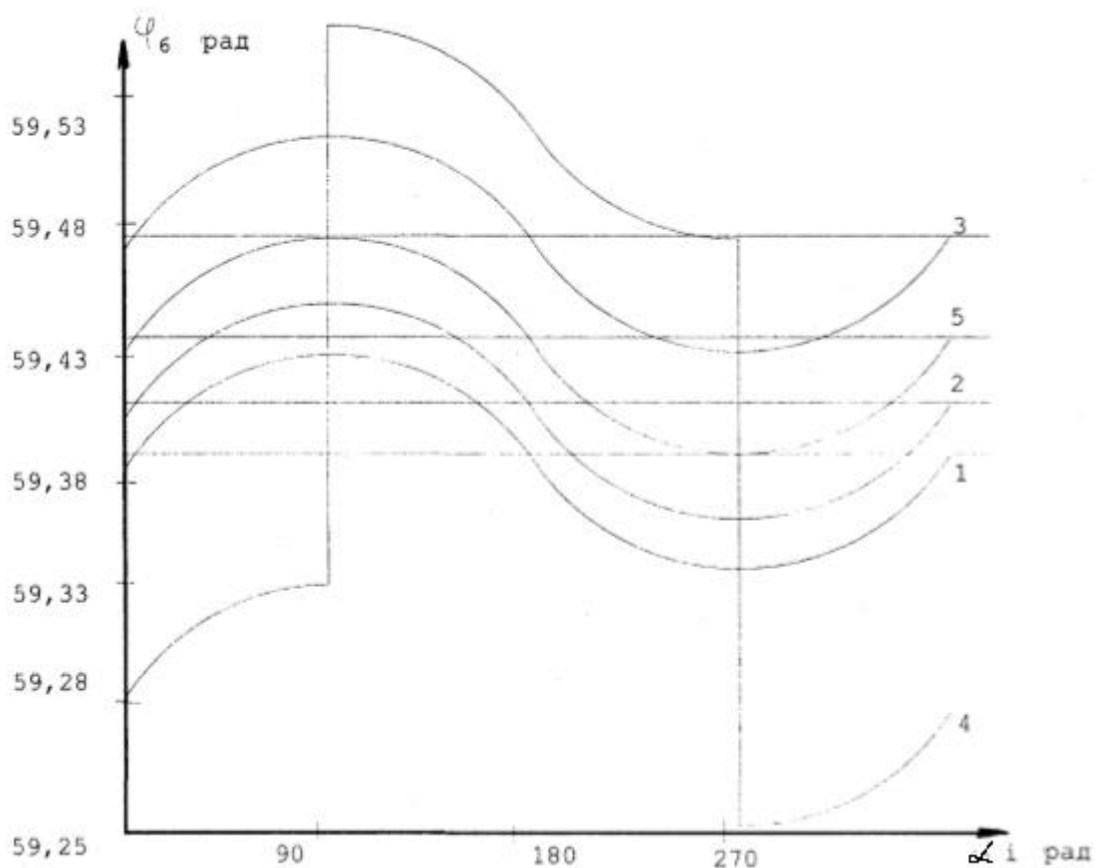


Рис. 1.19 Положення стінки кристалізатора за цикл хитання при різних дефектах.

З аналізу графіків випливає, що всі можливі дефекти механізму хитання можна розділити на три групи в залежності від форми кривої зміни кута  $\varphi_6$  в циклі хитання кристалізатора:

- 1) зміщення середнього значення амплітуди, зміни кута щодо еталонного положення при нормальній роботі механізму (люфти в вузлах А, В, О, Е);
- 2) зміна амплітуди (люфт у вузлі Р);
- 3) зміна форми кривої зміни кута  $\varphi_6$  (люфт в шпонковому з'єднанні вихідного валу двигуна, приводу МХК).

Однак слід мати на увазі, що виконаний аналіз відповідає роботі механізму хитання без навантаження, коли не враховується зміна зусиль, що діють на кристалізатор в процесі розливання. Тому вплив закономірних навантажень на

механізм хитання в процесі розливання, має ввести відповідні корективи в характер зміни кута  $\varphi_6$ , в циклі хитання кристалізатора.

### **1.7 Розробка математичної моделі впливу зазорів в підшипникових вузлах на якість траєкторії руху кристалізатора**

Як було зазначено вище, при наявності дефектів в МХК відбувається зміна траєкторії його руху, збільшується неузгодженість зі швидкістю витягування злитка, погіршуються умови мастила стінок, що призводить до появи поверхневих тріщин у злитку і зростання ймовірності проривів. Порушення траєкторії хитання кристалізатора може також статися через зсув опорних елементів і порушення умов настройки.

З цією метою була поставлена задача розробки математичної моделі впливу дефектів в підшипникових вузлах і з'єднаннях МХК на якість траєкторії руху кристалізатора. Для проведення математичного аналізу впливу зазорів в підшипникових вузлах на траєкторію руху кристалізатора, розглянемо плоску кінематичну схему МХК (рис. 1.20).

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
49						
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат		49

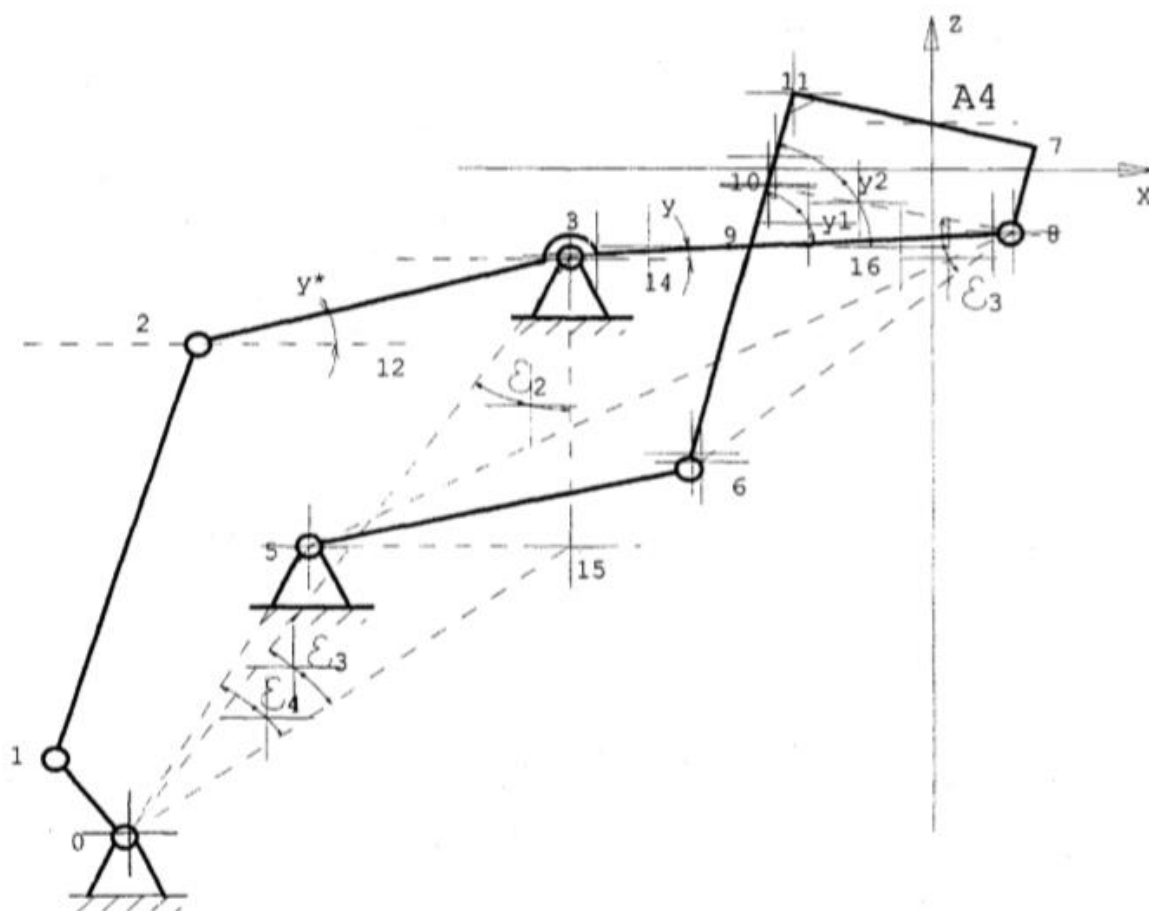


Рис. 1.20 Плоска кінематична схема механізму хитання кристалізатора.

Шарніри: A1, A2, A3, A5, A8.

"Геометричні точки: A4, A7, A11, R O.1 = 6, R 2.3 = 1400, R 1.2 = 3194, R 11.7 = 670, R 3.8 = 1400, R 5.3 = 1457, R 5.6 = 1400, R 6.8 = 1296, R 4.8 = 810.

$\angle 8.10.6 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\angle 11.9.16 = y_2$ ,  $\angle 8.7.11 = \angle 7.11.6 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\angle 8.3.14 = y$ ,  $\angle 11.9.8 = y_1$ .

Як бачимо на рис. 1.20, кут  $y = \angle 8.3.14$  відрізняється від кута  $y^* = \angle 3.2.12$  на величину :

$\varepsilon_1 = \arctg(\tg 8.3.14) - \arctg(\tg 3.2.12) = \text{const} = -0.1731$ , яка визначається за кресленням.

При цьому:  $y = y^* + \varepsilon_1$ . (2.1)

Оскільки відомі довжини всіх ланок (важелів) МХК, тобто модулі векторів  $\overline{R_{Jj}} = \overline{A_i A_j}$  і їх напрямки, що з'єднують стаціонарні точки, тобто кути :

$$\varepsilon_2 = \angle 5.3.15, \varepsilon_3 = \angle 3.0.15, \varepsilon_4 = \angle 5.0.15, \quad (2.2)$$

то рух кривошипа визначається кутом  $\theta$  або вектором:

$$\begin{cases} \overline{R_{01}} = \overline{A_0 A_1} = R_{01} \{ \cos \theta, \sin \theta \} \\ \theta = \int \omega(t) dt \end{cases}. \quad (2.3)$$

Як правило,  $\omega = const$ , тобто  $\theta = \omega t + \theta_0$ .

З рис. 20 отримаємо:

$$\overline{R_{03}} = \overline{R_{03}} + \overline{R_{12}} + \overline{R_{23}}. \quad (2.4)$$

Звідси випливає що:

$$\begin{aligned} \overline{R_{12}} &= \overline{R_{03}} - \overline{R_{01}} + \overline{R_{23}} \gg \overline{R_{12}^2} = (\overline{R_{03}} + \overline{R_{12}} + \overline{R_{23}})^2 \gg \\ R_{03}^2 + R_{01}^2 + R_{23}^2 - R_{12}^2 - 2\overline{R_{03}} * \overline{R_{23}} + 2\overline{R_{23}} * \overline{R_{01}} &= 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

При цьому,  $R_{12}$  виділено, оскільки нас не цікавлять його проекції.

З виразу (2.5) отримаємо:

$$\gg 1 + \left( \frac{R_{01}}{R_{03}} \right)^2 + \frac{R_{23}^2 - R_{12}^2}{R_{03}^2} - 2 \frac{R_{01}}{R_{03}} \cos(y^* - \varepsilon_3) + 2 \frac{R_{23} * R_{01}}{R_{03} * R_{03}} \cos(y^* - \theta) = 0. \quad (20.6)$$

З виразу (20.1) маємо :  $y = y^* + \varepsilon_1$ .

Приймаючи до уваги те, що :

$\sin = \sqrt{1 - \cos^2}$ , з виразу (2.6) отримаємо наступне:

$$\begin{aligned} 1 + \left( \frac{R_{01}}{R_{03}} \right)^2 + \frac{R_{23}^2 - R_{12}^2}{R_{03}^2} - 2 \frac{R_{01}}{R_{03}} \cos(\theta - \varepsilon_3) - 2 \frac{R_{23}}{R_{03}} \left( 1 - \frac{R_{01}}{R_{03}} \cos(\theta - \varepsilon_3) \right) \cos(y - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) = \\ = -2 \frac{R_{23} * R_{01}}{R_{03} * R_{03}} \sqrt{((1 - \cos^2(\theta - \varepsilon_1)) * (1 * \varepsilon_1 - \varepsilon_3))}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Для того, щоб позбутись кореня, зведемо вираз (20.7) в квадрат. Після перетворення отримаємо:

$$A(\theta) * \cos^2(y - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) - B(\theta) * \cos(y - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) - C(\theta) = 0, \quad (2.8)$$

$$\begin{cases} A(\theta) = 2\left(\left(\frac{R23}{R03}\right)^2 * \left(1 + \left(\frac{R01}{R03}\right)^2 - 2\frac{R01}{R03}\cos(\theta - \varepsilon_3)\right)\right) \\ B(\theta) = 4\frac{R23}{R03}\left(1 - \frac{R01}{R03}\cos(\theta - \varepsilon_3)\right) * \left(1 + \left(\frac{R01}{R03}\right)^2 + \frac{R23^2 - R02^2}{R03^2} - 2\frac{R01}{R03}\cos(\theta - \varepsilon_3)\right) \\ C(\theta) = \left(1 + \left(\frac{R01}{R03}\right)^2 + \frac{R23^2 - R12^2}{R03^2} - 2\frac{R01}{R03}\cos(\theta - \varepsilon_3)\right)^2 - 4\left(\frac{R23}{R03}\right)^2 * \left(\frac{R01}{R03}\right)^2 * (1 - \cos(\theta - \varepsilon_3)) \end{cases}$$

Вирішуючи вираз (2.8), отримаємо наступне (знаки перед коренем обрані для даної моделі):

$$y = \varepsilon_1 + \varepsilon_3 + \arccos \frac{B(\theta) - \sqrt{B^2(\theta) - 4A(\theta) * C(\theta)}}{2A(\theta)}. \quad (2.9)$$

Враховуючи, що:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{d\theta} \omega; \quad \frac{d^2y}{dt^2} = \omega^2 \frac{d^2y}{d\theta^2} + \frac{dy * d\omega}{d\theta * dt}, \quad \text{продиференціювавши вираз} \quad (2.6)$$

знайдемо кутові швидкості та прискорення.

$$\frac{R01}{R03} \sin(\theta - \varepsilon_3) * \omega + \frac{R23}{R03} \sin(y - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) * \left(\frac{dy}{\omega}\right) - \frac{R23 * R01}{R03 * R03} \sin(y - \theta - \varepsilon_1) * \left(\frac{dy}{d\theta} * \omega - \omega\right) = 0.$$

Звідси:

$$\frac{dy}{dt} = - \frac{R01 * \sin(\theta - \varepsilon_3) + \frac{R01}{R03} \sin(y - \theta - \varepsilon_1)}{R23 * \sin(y - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) - \frac{R01}{R03} * (y - \theta - \varepsilon_1)} * \omega. \quad (2.10)$$

Далі потрібно визначити кут нахилу стінок кристалізатора до платформи

$y1 = \angle 11.9.8$  та до горизонтальної площини:

$$y2 = \angle 11.9.16 = y1 + y \quad (2.11)$$

Відповідно до схеми:

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
52						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\angle 7.11.9 = \angle 8.7.11 = \angle 9.10.8 = \frac{\pi}{2}$$

$$\angle y_1 = \frac{\pi}{2} - \angle 10.8.9; \angle 10.8.9 = \angle 10.8.6 - \angle 3.8.6;$$

$$\angle 3.8.6 = \angle 3.8.5 - \angle 5.8.6.$$

Крім того,

$$\varepsilon_5 = \angle 10.8.6 = \arctg \frac{R_{10.6}}{R_{10.8}} = \arctg \frac{R_{7.11}}{R_{11.6} - R_{10.11}}. \quad (2.12)$$

За теоремою косинусів:

$$\cos \angle 3.8.5 = \frac{R_{38}^2 + R_{58}^2 - R_{35}^2}{2R_{38} * R_{58}}; \cos \angle 5.8.6 = \frac{R_{68} + R_{58}^2 + R_{56}^2}{2R_{58} * R_{68}}$$

$$R_{58}^2 = R_{35}^2 + R_{38}^2 + 2R_{35} * R_{38} * \cos \left( \angle 5.3.15 + \frac{\pi}{2} + y \right).$$

Оскільки:

$$\angle 5.3.15 = \varepsilon_2; \quad \cos \left( \varepsilon_2 + \frac{\pi}{2} + y \right) = -\sin (y + \varepsilon_2);$$

$$\gg R_{58}^2 = R_{35}^2 + R_{38}^2 + 2R_{35} * R_{38} * \sin (y + \varepsilon_2) \quad (2.13)$$

$$y_1 = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_5 + \arccos \frac{R_{38} + R_{35} * \sin(y + \varepsilon_2)}{R_{58}} + \arccos \frac{R_{68}^2 - R_{56}^2 - R_{58}^2}{2R_{68} * R_{58}}, \quad (2.14)$$

за виразом (2.14), законно наступне:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = \frac{dy_1 * dy}{dy * dt} = \frac{dy_1 * dy}{dy * d\theta} * \omega \\ \frac{d^2 y_1}{dt^2} = \frac{d^2 y_1}{dy^2} * \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 * \omega^2 + \frac{dy_1 * d^2 y}{dy * d\theta^2} * \omega^2 + \frac{dy_1 * dy * d\omega}{dy * d\theta * dt} \end{cases} \quad (2.15)$$

Проведемо розрахунок похідних:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = \frac{dy_1}{dy} + \frac{dy}{dt} = \left( \frac{dy_1}{dy} + 1 \right) * \frac{dy}{d\theta} * \omega \\ \frac{d^2 y_1}{dt^2} = \frac{d^2 y_1}{dy^2} * \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 * \omega^2 + \left( \frac{dy_1}{dy} + 1 \right) * \frac{d^2 y}{d\theta^2} * \omega^2 + \left( \frac{dy_1}{dy} + 1 \right) * \frac{dy * d\omega}{d\theta * dt} \end{cases} \quad (2.16)$$

Якщо, розрахувати  $\frac{dy_1}{dy}; \frac{d^2y}{d\theta^2}$ , то виходить дуже великий розрахунок, тому для диференціювання використовував ЕОМ.

Крім кутових швидкостей та прискорення необхідно провести розрахунки переміщення, лінійні швидкості і прискорення «базової точки» А4, прискорення Коріоліса, люфт.

Координати точки А4 визначаються наступним виразом:

$$x = R38 * \cos y + R48 * \cos \angle 4.8.16 + x_0$$

$$y = R38 * \sin y + R48 * \sin \angle 4.8.16 + z_0.$$

При цьому:

$$\angle 4.8.16 = y_2 + \arctg \frac{R47}{R78};$$

$$\varepsilon_6 = \arctg \frac{R47}{R78}. \quad (2.17)$$

Звідси координати точки А4 визначаються наступним виразом:

$$\begin{cases} x = R38 * \cos y + R48 * \cos(y_2 + \varepsilon_6) + x_0 \\ z = R38 * \sin y + R48 * \sin(y_2 + \varepsilon_6) + z_0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Якщо,

$$\begin{cases} R38 * \cos y = n1 & n2 = R38 * \sin y \\ R48 * \cos(y_2 + \varepsilon_6) = n3 & R48 * \sin(y_2 + \varepsilon_6) = n4 \end{cases} \quad (2.19)$$

тоді:

$$\begin{cases} x - x_0 = n1 + n3 \\ z - z_0 = n2 + n4 \end{cases} \quad (2.20)$$

Продиференціювавши вираз (20.20), отримаємо:

$$\begin{cases} V_x = \frac{dx}{dt} = -n2 \frac{dy}{d\theta} * \omega - n4 \left( \frac{dy_1}{dy} + 1 \right) * \frac{dy}{d\theta} * \omega \\ V_z = \frac{dz}{dt} = n1 \frac{dy}{d\theta} * \omega + n3 \left( \frac{dy_1}{dy} + 1 \right) * \frac{dy}{d\theta} * \omega \end{cases} \quad (2.21)$$

Продиференціювавши вираз (20.21), отримаємо прискорення (20.22):

$$\begin{cases} A_x = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \left\{ n1 \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 - n2 \frac{d^2y}{d\theta^2} + n3 * \left( \frac{dy1}{dy} + 1 \right)^2 * \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 - n4 \frac{d^2y1}{dy^2} \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 - n4 \left( \frac{dy1}{dy} \right) \frac{d^2y}{d\theta^2} \right\} \\ A_z = \frac{d^2z}{dt^2} = -\omega^2 \left\{ n2 \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 - n1 \frac{d^2y}{d\theta^2} + n4 * \left( \frac{dy1}{dy} + 1 \right)^2 * \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 - n3 \frac{d^2y1}{dy^2} \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 - n3 \left( \frac{dy1}{dy} \right) \frac{d^2y}{d\theta^2} \right\} \end{cases}$$

Прискорення Кориоліса визначається за формулою:

$$\begin{cases} \vec{K} = 2 \left[ \left[ \overrightarrow{R84} * \frac{d\vec{y1}}{dt} \right] \frac{d\vec{y}}{dt} \right] = 2 \left( \frac{dy * dy1}{d\theta * d\theta} \right) * \omega^2 * \overrightarrow{R84} = 2\omega^2 \left( \frac{dy}{d\theta} \right)^2 * \frac{dy1}{dy} \overrightarrow{R84} \\ \overrightarrow{R84} = R48 \{ \cos(y2 + \varepsilon_6), \sin(y2 + \varepsilon_6) \} \end{cases} \quad (2.23)$$

Очевидно, що  $A_x$  провокує люфт в шарнірі АЗ,  $A_z + K_z$  - люфт в шарнірах А6 та А8, К - в шарнірі А8,  $\beta_{H1} = \frac{d^2y1}{dy^2}$  - в шарнірах А0 та А1, параметричне рівняння точки А4 –  $z(t) = z(x(t))$ .

Кривизна стінки кристалізатора повинна збігатися з кривизною злитка, "нульової" роликової секції і складати 10м, проте, при експериментальних розрахунках [13], в процесі хитання, центр кривизни стінок зміщується. Для однієї з точок можна прийняти такий вираз:

$$\begin{cases} xc = x + 10^4 \sin \gamma_2 \\ zc = z - 10^4 \cos \gamma_2 \end{cases} \quad (2.24)$$

## 1.8 Розробка математичної моделі впливу зазорів в підшипникових вузлах на деформацію оболонки злитка

Під дією зовнішніх сил, включаючи феростатичного тиск, корочка прогинається і дію зовнішніх сил нейтралізується або має нейтралізуватися дією сил пружності.

Розглянемо закономірності дії даних сил на вертикальний криволінійної МБЛЗ. У цьому випадку момент пружних сил дорівнює:

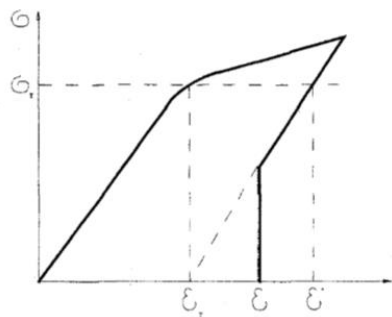
$$\int \sigma * x dS(x). \quad (2.25)$$

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
55						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		



У разі, коли виходимо за межу пружності, можна прийняти відношення  $\sigma \approx \sigma_T$ , нехтуючи анізотропією і дотичними напруженнями, закон Гука можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{\sigma_T - \sigma}{\varepsilon^* - \varepsilon} = E \gg \sigma_T - E(\varepsilon^* - \varepsilon). \quad (2.26)$$



Для вертикальної МБЛЗ можна виділити дві площини, що ділять злиток уздовж на дві симетричні частини. У цих площинах:

$$\varepsilon = \frac{(R(Z) + x d\varphi - R(Z) d\varphi)}{R(Z) d\varphi} = \frac{x}{R(Z)}. \quad (2.27)$$

$$\begin{cases} \varepsilon^* = \frac{\sigma_T}{E} + \left( \frac{x}{R(Z)} - \frac{\sigma_T}{E} \right) * l * \left( \frac{x}{R(Z)} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \\ \sigma = - \left( E \frac{x}{R(Z)} - \sigma_T \right) * l * \left( \frac{x}{R(Z)} - \frac{\sigma_T}{E} \right) + E \frac{x}{R(Z)} \end{cases} \quad (2.28)$$

Де  $\sigma_T$  - межа плинності;

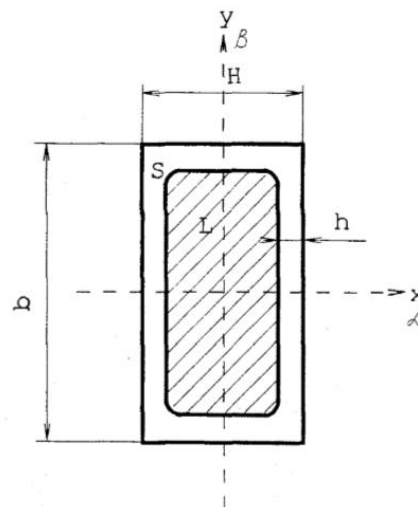
$\varepsilon_T = \frac{\sigma_T}{E}$  - деформація при якій досягається значення  $\sigma_T$ ;

$\varepsilon^*$  - максимальна деформація поблизу даної точки;

$R^*$  - радіус кривизни нейтральної лінії в

точці, де кривизна максимальна, коли  $\frac{d}{dz} K = \frac{d^3 y}{dz^3} = 0$ .

Рис. 21 Схема поперечного перетину злитка.



$$l(x) = \begin{cases} 1 - & \text{при } x > 0 \\ 2 - & \text{при } x \leq 0 \end{cases}$$

Оскільки  $\frac{1 - \frac{d^2 y}{dz^2}}{(1 + (\frac{dy}{dz})^2)^{\frac{3}{2}}} \approx \frac{d^2 y}{dz^2}$ , можна досить точно визначити форму перетину

безперервного злитка у (2), якщо дія зовнішніх сил визначається їх моментами (для феростатичного тиску).

Для криволінійної МБЛЗ необхідно мати на увазі, що  $R$  - величина одного порядку з радіусом кривизни скоринки злитка, тому можна записати наступне:

$$\varepsilon = \frac{(R(Z) + x + y(Z, x))d\varphi - (R(Z) + x)d\varphi}{(R(Z) + x)d\varphi} = \frac{y(Z, x)}{R(Z) + x} \approx \frac{y(Z)}{R(Z)} \approx \frac{y(Z)}{R},$$

де:  $Z$  - координата по осі злитка;

$R(Z)$  - поточне значення радіуса кривизни нейтральної лінії;

$x$  - координата вздовж вузької межі злитка;

$y$  - координата вздовж широкої грані злитка.

Таким чином, з точністю близько одного відсотка, для кривої скоринки є алгебраїчне рішення, а для плоскої стінки криволінійної МБЛЗ необхідно проінтегрувати вираз.

Величина зміщення кристалізатора від заданої траєкторії при справному і правильно налаштованому механізмі дуже мала. Ця величина може стати значимою в разі, коли з'являються зазори в підшипникових вузлах і з'єднаннях МХК, оскільки вона викликає появу перерізуючої сили, що сприяє утворенню і розвитку тріщин, особливо в кутових частинах злитка, де пластичність металу знижена.

Позначимо, за  $\vec{F}$  силу внутрішніх напружень, прикладених до площі перетину скоринки злитка  $F = \int \sigma_T df$ , при цьому  $\frac{d\vec{F}}{dl} = -\vec{K}$  - зовнішня сила, наприклад феростатичний тиск.

Нехай  $\vec{M}$  – момент внутрішньої напруги для шару злитка між нескінченно близькими перетинами. Тоді:  $d\vec{M} + [d\vec{l} * \vec{F}] = 0$ .

Звідси:  $\frac{d^2 M}{dl^2} = \frac{d^2 M}{dz^2} = \left[ \frac{d\vec{F}}{dl} * t \right] + \left[ \frac{d\vec{t}}{dl} * \vec{F} \right] \approx [t\vec{K}]$ , де  $t = \frac{d\vec{l}}{dl}$  – одиничний вектор, дотичний до поверхні та майже паралельний до Z.

Таким чином:

$$M_x = -E J_x \frac{d^2 y}{dz^2}, M_y = -E J_y \frac{d^2 x}{dz^2} \gg$$

$$\gg K_x = -E \left\{ \frac{d}{dz} \left( J_x * \frac{d^2 x}{dz^2} \right), \frac{d}{dz} \left( J_y * \frac{d^2 y}{dz^2} \right) \right\}.$$

'Перерізуюча" сила визначиться як:

$$\vec{F} = -E = -E \left\{ \frac{d}{dz} \left( J_x * \frac{d^2 y}{dz^2} \right), \frac{d}{dz} \left( J_y * \frac{d^2 x}{dz^2} \right) \right\},$$

де:  $J_x, J_y$  - проекції моменту інерції перетину злитка J, рідкої області  $J_L$  та скоринки  $J_S$ .

Таким чином, додатково з'являється можливість (при наявності різних люфтів) визначати гранично допустимі деформації  $\varepsilon$  оболонки злитка при її «підсікання» кристалізатором і значення перерізують сили.

## 1.9 Висновки до розділу

1. Взаємодія злитка з криволінійним кристалізатором має дуже складний характер. Багато в чому якість поверхні безперервно-ливої заготовки залежить від параметрів руху кристалізатора, отже, від якості роботи МХК. Порухення закону руху кристалізатора по заданій траєкторії значно впливає на процес формування оболонки злитка.

2. В даний час існує велика кількість конструкцій МХК, принцип роботи яких заснований на зворотно-поступальному переміщенні кристалізатора по заданій траєкторії. Сучасна тенденція розвитку процесу безперервного лиття заготовок на

високих швидкостях розливання і підвищені вимоги до якості металу, зумовили розробку принципово нових МХК, здатних працювати на частотах хитання до 600 хит / хв і вище.

3. При зростанні частот хитання кристалізатора, виникає необхідність врахування динаміки руху ланок МХК, їх деформації, а можливість появи резонансу є очевидною. У зв'язку з цим, потрібно рішення задачі, а саме вдосконалення розрахункових методів конструкції МХК з використанням можливостей сучасних ЕОМ і розробка відповідного програмного забезпечення.

4. Основною причиною появи ребрових тріщин на поверхні злитку, є порушення в роботі МХК, пов'язані, в першу чергу, з дією неврівноважених навантажень, дефектів в налаштуванні і зазорів в підшипникових вузлах.

5. При великому виборі існуючих систем контролю технологічних параметрів розливання у вітчизняній практиці експлуатації МБЛЗ відсутні ефективні методи і засоби контролю стану МХК. Існуючі методи і засоби контролю технічного стану МХК не дозволяють з достатньою точністю визначати місце розташування дефекту і виробляти його ідентифікацію.

6. Розроблено математичну модель кінематики механізму хитання кристалізатора для дослідження впливу зазорів в МХК на геометричні параметри траєкторії руху кристалізатора, на основі яких виявлено представницькі діагностичні параметри і точки контролю механізму хитання.

7. З використанням математичного моделювання встановлено закономірності впливу люфтів в вузлах МХК на траєкторію руху кристалізатора, і, як наслідок, деформацію оболонки злитка.

## **2. Методика контролю якості траєкторії руху кристалізатора з використанням оптоелектронної системи контролю.**

### **2.1. Експериментально-діагностичні методи контролю параметрів механізму хитання кристалізатора**

Як зазначалося вище, механізм хитання кристалізатора призначений для передачі кристалізатору зворотно-поступального руху фіксованої траєкторії. Відхилення тих, чи інших, параметрів МХК призводить до спотворення форми кривої і, як наслідок, деформації оболонки злитка. Аналіз літературних джерел показав, що більшість існуючих методів і засобів діагностики МХК засновані на контролі зусилля витягування злитка і прогнозуванні можливості прориву в робочому циклі руху кристалізатора, однак вони не дозволяють контролювати якість формованої траєкторії руху кристалізатора, а також ідентифікувати і виробляти якісну оцінку дефектів в налаштуванні і роботі МХК. У зв'язку з цим поставлено завдання вдосконалення існуючих методів контролю МХК, шляхом вирішення задачі контролю стану підшипникових вузлів і якості формованої МХК траєкторії руху кристалізатора.

### **2.2. Опис методики досліджень**

Як показник точності формування траєкторії руху кристалізатора і, на цій основі, виявлення дефектів механізму хитання може бути використана інформація про зміну поточного стану, в циклі хитання, точки перетину нормалі  $n$  (рис. 3.1), до площини АВ, поверненою на фіксований кут до кристалізатору 1 і пов'язаної з його широкими стінками, з допоміжною площиною СО, розташованої на фіксованій відстані  $L$  від кристалізатора [14,15].

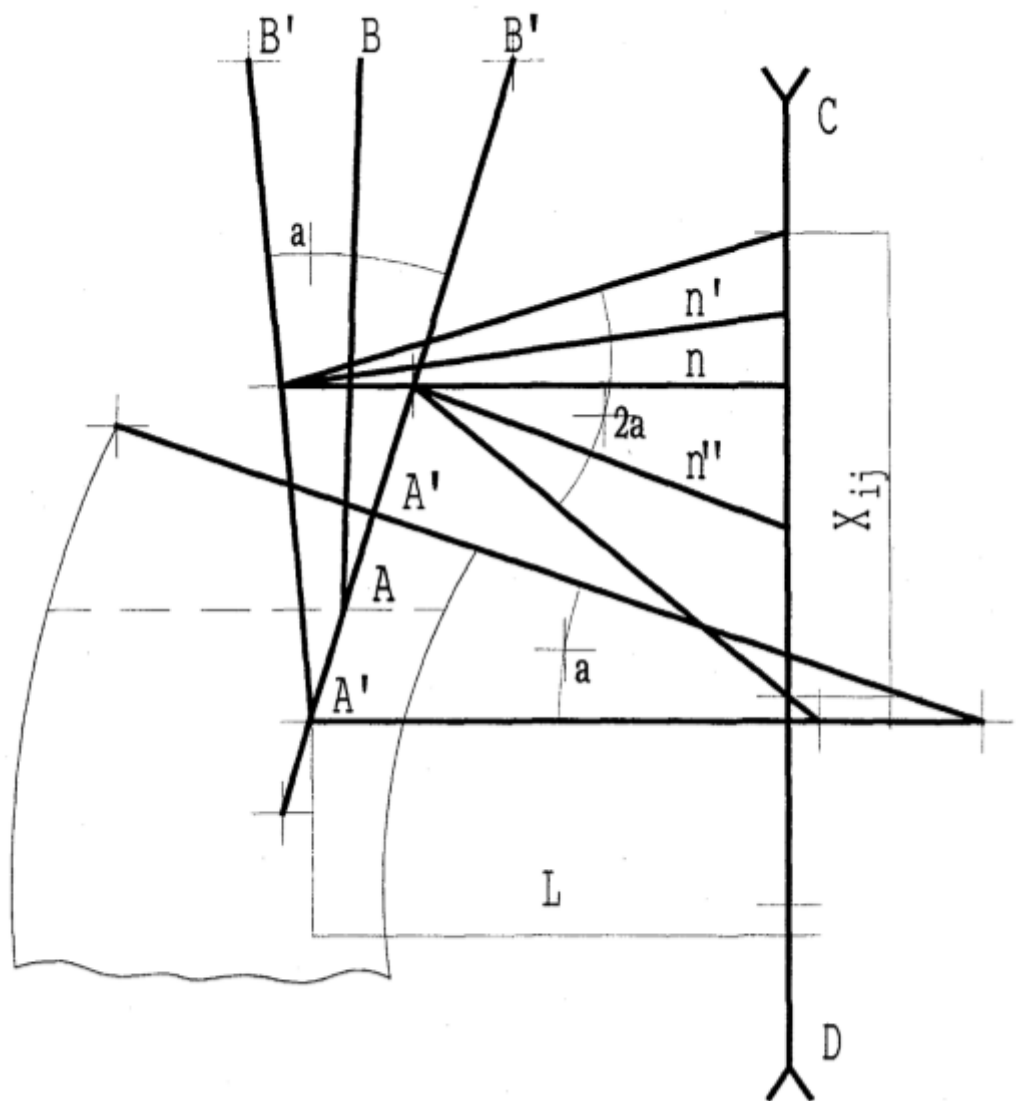


Рис. 2.1 Схема способу контролю механізму хитання кристалізатора.

Встановлено, що при відсутності дефектів в механізмі хитання кристалізатора, траєкторія руху згаданої точки перетину нормалі описується практично правильною синусоїдальною залежністю, а положення середньої лінії синусоїди в процесі експлуатації механізму хитання кристалізатора зберігає незмінне значення. При появі люфтів в вузлах сполучення важелів, невірного налаштування або зміщенні опор механізму хитання кристалізатора відбувається зміна положення середньої лінії траєкторії руху точки перетину заданої нормалі за повний період повороту валу приводу механізму хитання кристалізатора.

При появі люфту в ексцентрику або вилці рами, поломки підшипника ексцентрикового валу, відбувається спотворення синусоїдальної траєкторії руху точки перетину нормалі з допоміжною площиною в циклі хитання кристалізатора. Таким чином, для підвищення точності контролю дефектів механізму хитання кристалізатора, необхідно здійснити повний цикл хитання кристалізатора і виміряти поточний стан точки перетину нормалі до площини, поверненою на фіксований кут до кристалізатору і жорстко пов'язаної з його широкими стінками, з допоміжною площиною, розташованою на фіксованій відстані від кристалізатора, визначити поточне середнє значення відхилення точок перетину нормалі і порівняти його з деяким еталонним значенням, зафіксованим на налаштованому і справному механізмі хитання кристалізатора. Середнє значення  $\tilde{x}_j$ , поточних відхилень  $x_{ji}$  в положенні точки перетину нормалі за j-й цикл хитання кристалізатора може бути обчислено відповідно до залежності:

$$\tilde{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} ,$$

де 1 (1 ... И) – кількість відліку поточного значення відхилення точки перетину нормалі  $x_{ji}$  в циклі хитання кристалізатора.

У еталонному циклі хитання кристалізатора, за який приймають цикл перед початком процесу експлуатації налаштованого і справного механізму хитання кристалізатора,

$$\widetilde{x}_{\exists} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{\exists i} .$$

Джерело спрямованого випромінювання встановлене таким чином, що пряма, що проходить через оптичну вісь випромінювача при будь-якому положенні кристалізатора, перетинає площину АВ відбивача. Беручи середнє положення кристалізатора за нульове, отримуємо кут відхилення верхньої площини стінок кристалізатора для його крайніх положень:

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{A}{R} \right),$$

де  $A$  – амплітуда хитання кристалізатора;

$R$  – радіус технологічній осі МБЛЗ.

Крайнім положенням верхньої площини кристалізатора відповідають положення нормалей  $n'$  і  $n''$  і відповідно до законів геометричної оптики кут відхилення відбитого променя від площини АВ дорівнює подвоєному куту відхилення базової стінки кристалізатора щодо середнього його положення. Таким чином, відбитий промінь на світло-прийомному екрані (площину АВ) відображає хитання базової стінки кристалізатора в циклі його хитання і визначає її положення щодо осі роликового проводки.

Як засоби контролю положення точки перетину нормалі з допоміжною площиною використовували джерело спрямованого випромінювання (лазер) і оптоелектронну систему [16-18]. Структурна схема системи контролю траєкторії хитання кристалізатора, що забезпечує отримання інформації про роботу механізму хитання, як з боку широкої, так і з боку вузької межі кристалізатора показана на рис. 2.2. Система складається з оптичного дзеркала 1, жорстко пов'язаного з кристалізатором 2, лазерного випромінювача 3 з системою корекції положення його оптичної осі. Світова пляма, що є проекцією відбитого від дзеркала променя лазера (на малюнку показаний стрілками) потрапляючи на площину оптичного екрану, зчитується з останнього системою обробки телевізійного сигналу. До складу системи включені також датчик циклу роботи кристалізатора 4 з системою обробки його показань, пов'язаний з приводом 5 хитання кристалізатора. Сигнал від циклового датчика 4, оброблений в блоці і свідчення від блока обробки надходять в накопичувач з записуючим пристроєм і передаються на ЕОМ верхнього рівня 6.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
63							63
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Лат			



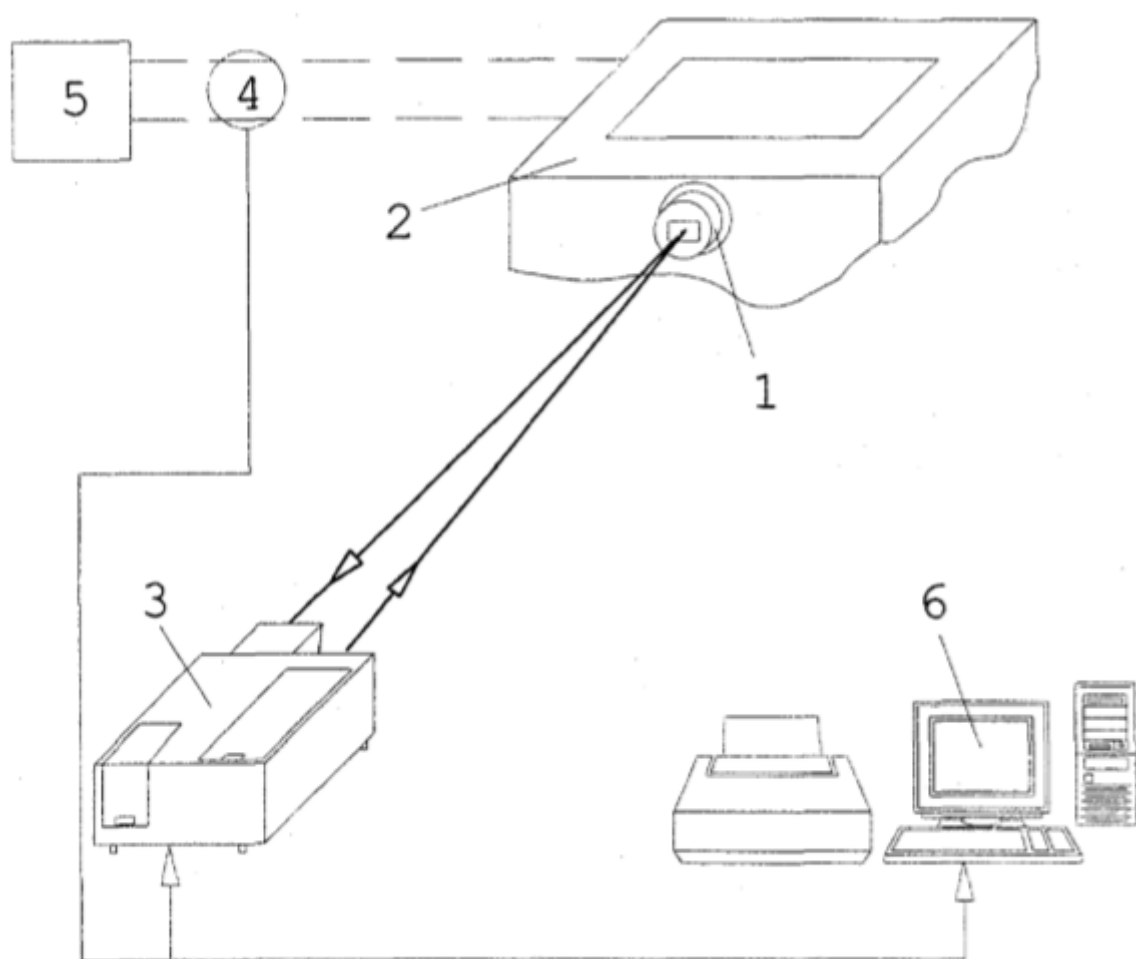


Рис. 2.2 Структурна схема системи контролю.

Промінь лазера, відбиваючись від дзеркала, описує на встановленому оптичному екрані-приймачі траєкторію, яка збігається з траєкторією хитання кристалізатора, оскільки дзеркало жорстко встановлено на кристалізаторі, під фіксованим кутом, а лазер нерухомий. Використання безконтактного способу передачі інформації по оптичному каналу безпосередньо з контрольованого об'єкта не має недоліків, властивих іншим методам і повністю виключає вплив проміжних ланок механізму хитання кристалізатора на отримувану інформацію. На знову поставленому кристалізаторі досить лише встановити дзеркало і система відновлює свою структуру.

При відсутності порушень в налаштуванні опорних елементів і важелів, люфтів в ексцентрики і вилці рами, крива переміщення точки перетину нормалі

до площини АВ з площиною СО має вид «ідеальної» синусоїди. У разі зміщення опорних елементів або появи люфтів в вузлах з'єднання важеля з штовхачем або рамою, поломок ексцентрика, внаслідок надмірних перевантажень механізму хитання кристалізатора траєкторія його руху спотворюється.

### **2.3. Результати експериментальних досліджень з використанням оптоелектронної системи контролю**

Для проведення експериментальних досліджень використовували прилад контролю хитання кристалізатора 1ЖК-1 з оптичним дзеркалом [19-21]. Заміри проводились як на нових, виведених з капітального ремонту, так і на відпрацювавших в середньому 50% нормативного терміну, механізмах хитання кристалізатора. В цілому з використанням вищеописаної системи, в період з 01.03.1997 року по 01.05.1997 року було перевірено технічний стан 6-ох механізмів хитання чотирьох МБЛЗ конвертерного виробництва ММК «ім. Ілліча» з кристалізаторами перетином 1850 x 250 мм. Приймально-передавальний блок встановлювали на відстані 10 м від дзеркала рефлектора, варіанти установки якого на верхньому торці кристалізатора представлені на рис. 2.3. Дослідження траєкторії проводилися на частотах хитання 30, 80, 120 хит / хв, а результати фіксувалися на паперовий носій за допомогою пишучого пристрою, а також передавалися для запису і обробки на ЕОМ.

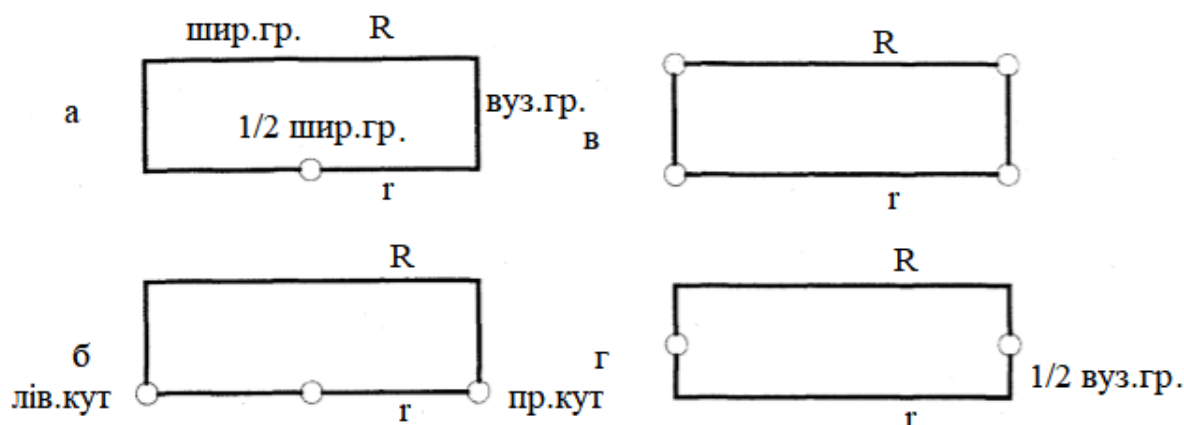


Рис. 2.3 Варіанти розташування опори дзеркала-відбивача на верхньому торці кристалізатора.

А-В - на холостому ході, Г - в умовах розливання, шир.Гр.- широка грань, вуз.Гр.- вузька грань, лів.кут- лівий кут, пр.кут. - правий кут.

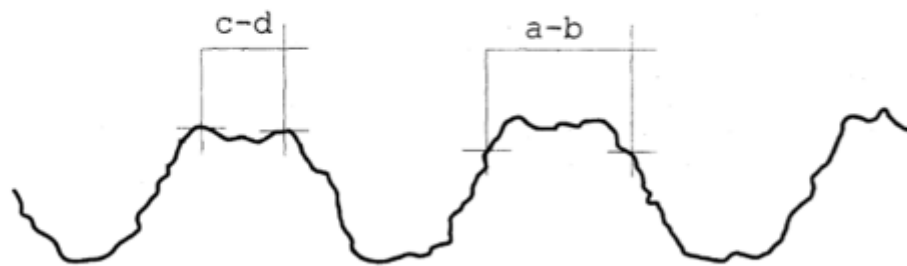
На початковому етапі проведення робіт для визначення фактичної траєкторії хитання кристалізатора, виміри з використанням вищеописаної оптоелектронної системи контролю, проводилися при установці дзеркала-відбивача на плиті, що закриває кристалізатор.

Результати досліджень траєкторії руху плити, що закриває кристалізатор (рис. 2.4. а.) Свідчать про те, що рух плити багато в чому носить випадковий характер і лише частково відображає процес взаємодії з нею кристалізатора при його хитанні. Це пов'язано з тим, що плита розміщена на кристалізаторі досить вільно і має можливість взаємодії як з кристалізатором, так і з плитами настилу розливного майданчика.

Після установки оптичного відбивача на комір кристалізатора крива, отримана в результаті обробки інформації про рух відбитого променя по екрану приймального пристрою, набула вигляду зміненої синусоїди, причому при русі кристалізатора вгору (на рис. 2.4. б. Показано стрілкою) на графіку вказано наявність великої площадки (ділянка а-в діаграми) з короткочасним рухом кристалізатора вниз (ділянка с-д кривої). Цей ефект можна пояснити зустрічною взаємодією кристалізатора з плитою при його русі вгору, і відсутністю обмежень з

боку плити при русі кристалізатора вниз. Причому зіткнення кристалізатора з плитою при його русі вгору є настільки сильним, що це призводить до «віддачі» кристалізатора з рухом його вниз (ділянка с-d). Зазначений ефект, разом з тим, характерний для сильно зношених механізмів хитання кристалізатора і слабо проявляється при роботі нових і повністю відремонтованих. Це можна пояснити тим, що при хитанні кристалізатора протяжність ділянки а-в буде прямо пропорційна величині люфтів у всіх його вузлах.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
67						
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат		67



a)



Напрямок руху кристалізатора



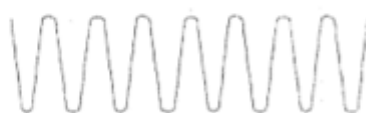
30 хит/хв



Напрямок руху ленти пишучого приладу



Напрямок руху кристалізатора



120 хит/хв



Напрямок руху ленти пишучого приладу

б)

Рис. 2.4 Результати дослідження : а) вплив захисної плити на характер траєкторії руху кристалізатора б) приклади запису приладу.

При збільшенні частоти хитання, зростають динамічні навантаження на механізм і рух кристалізатора можна розглядати, як послідовність чергування ділянок короточасної зупинки кристалізатора з подальшою вибіркою зазорів в механізмі і короточасним його переміщенням до наступної миттєвої зупинки.

Причому за кількістю таких ділянок і їх протяжності можна обґрунтовано судити про ступінь зносу МХК.

Механізм хитання повинен забезпечувати рух кристалізатора по траєкторії з радіусом  $R = 10$  м і амплітудою хитання  $A = 6$  мм. На Рис. 2.4. представлені приклади запису інформації про рух відбитого променя по екрану приймального пристрою при розташуванні дзеркального відбивача за варіантами рис.

2.3. Характер всіх кривих синусоїдальний з незначними відхиленнями. Встановлено, що при збільшенні частоти хитання з 30 до 80 і з 80 до 120 хит/хв відбувається зменшення максимального значення кута  $\varphi_6$ , що виявляється в зменшенні амплітуди синусоїдальної кривої, отриманої в результаті обробки інформації про рух відбитого променя по екрану приймального пристрою (рис. 3.4 ).

Для отримання більш детальної картини стану МХК МЛЗ №3 були проведені заміри на 2 і 3 струмках. Результати свідчать про те, що зафіксоване явище зменшення максимального значення кута  $\varphi_6$  подібно спостерігається на МБЛЗ №1 - №2. Зазначені відхилення від правильної синусоїди і місцеві стрибкоподібні зміни в траєкторії руху відбитого променя свідчать про те, що на момент проведення замірів кристалізатор був слабо закріплений на рамі і при хитанні зачіпав за піддон. Після усунення вищевказаних недоліків монтажу крива набула вигляду правильної синусоїди з порогами, які є наслідком зносу підшипникових вузлів і сполучень.

Для перевірки припущення про те, що зменшення амплітуди руху відбитого променя по екрану приймального пристрою, при збільшенні частоти хитання, пов'язано зі зменшенням амплітуди хитання кристалізатора, провели вимірювання абсолютної величини амплітуди хитання на струмках №2 і №3 (МБЛЗ №3), в точках малого і великого радіусів, в середині і по краях широкою межі кристалізатора, з використанням механічного перетворювача з рухомою

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
69						69
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

вимірювальною шкалою, корпус якого кріпили за допомогою стійки до настилу розливного майданчика. Вимірювання провели двічі, в різні дні і на кристалізаторах з різним перетином. За результатами замірів встановлено, що амплітуда хитання кристалізатора залишається незмінною, і, отже, причиною зменшення амплітуди руху відбитого променя є зменшення максимального значення кута  $\varphi_6$ .

## 2.4 Визначення похибки вимірювань амплітуди руху відбитого променя по екрану приймального пристрою

При оцінці якості траєкторії хитання кристалізаторів МБЛЗ №1,2,3 отримані дані про значення амплітуди руху відбитого променя по екрану приймального пристрою. Для отримання більш об'єктивної картини проведемо оцінку похибки виконаних вимірювань. У таб.1 наведені результати вимірювань амплітуди відбитого променя в кутах кристалізаторів струмків №2 і №3 МБЛЗ №3, отримані в різних дослідах на частоті 30 хит / хв.

Таблиця. 1. Результати вимірювань на струмках №2 і №3 МБЛЗ №3

№ дослід	Лівий кут				Правий кут			
	Великий радіус R		Малий радіус r		Великий радіус R		Малий радіус r	
	струм №2	струм №3	струм №2	струм №3	струм №2	струм №3	струм №2	струм №3
1	15	13	14	13	14	15	15	14
2	14	15	15	13	12	14	15	13
3	14	14	13	13	13	13	14	14

Довірчий інтервал, за межі якого з імовірністю  $\beta$  не вийде значення вимірюваної величини, дорівнює:

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ			
70								70
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат				

$$\bar{A} - \varepsilon \leq x \leq \bar{A} + \varepsilon ,$$

$$\text{де : } \varepsilon = t_{\alpha}(3) * S, \alpha = 1 - \beta.$$

$t_{\alpha}$  – критерій Стюдента.

Визначимо значення максимальної похибки результатів вимірювань амплітуди, припускаючи нормальний закон розподілу похибок. Для цього обчислимо середнє значення амплітуди для струмка №2 (R, лівий кут):

$$\bar{A} = \frac{1}{3} \sum_t^3 A_t = \frac{1}{3} (15 + 14 + 14) = 14,33 .$$

Звідси, вибіркова дисперсія:

$$S = \sqrt{\sum_i^3 \frac{(A_i - \bar{A})^2}{(3-1)}} = \sqrt{\frac{[(15-14,33)+(14,33-14)+(14,33-14)]^2}{2}} = 0,58.$$

Візьмемо довірчу ймовірність  $\beta = 0,95$ . Тоді, з даної ймовірністю, похибка вимірювань складе:

$$\frac{\varepsilon}{\bar{A}} * 100 = \frac{1,8}{14,33} * 100 = 12\%.$$

Таким чином, з довірчою ймовірністю  $\beta = 0,95$  похибка вимірювань амплітуди руху відбитого променя по екрану приймального пристрою складе 12%.

## 2.5 Визначення радіуса фактичної траєкторії руху кристалізатора при частоті хитання 120 хит / хв

Величину повного кута хитання кристалізатора можна оцінити за формулою:

$$2\varphi = \frac{2A}{r}.$$

Така оцінка допустима для малих значень кутів. При розташуванні приладу на осі хитання кристалізатора амплітуда коливань відбитого променя за рахунок

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
71						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



подвоєння кута при відображенні - дорівнює подвоєному значенню амплітуди хитань кристалізатора.

З огляду на те, що амплітуда хитання кристалізатора залишається незмінною, можна зробити висновок про те, що при збільшенні частоти хитань - зменшується кут хитання кристалізатора. З подоби трикутників, утворених променями, можливо визначити радіус траєкторії, по якій відбувається фактичне хитання кристалізатора, при зменшенні амплітуди хитань променя:

$$\frac{A'}{A} = \frac{r}{R}.$$

$$\text{Звідси : } R = A * \frac{r}{A'}.$$

При збільшенні частоти хитань з 30 до 120 хит / хв амплітуда хитань променя знижується приблизно в 2 рази. Тоді хитання кристалізатора буде відбуватися по траєкторії радіусом  $R=2*r = 2*10 = 20\text{м}$ . В цьому випадку кристалізатор, виконаний по траєкторії радіуса  $r$ , буде хитатись по траєкторії  $R$ , розгинаючи кірку злитка з боку малого радіусу при своєму русі вгору і вдавлюючись своєю нижньою частиною в кірку злитка при своєму русі вниз.

## 2.7 Оптиелектронна система контролю механізму хитання кристалізатора

Для забезпечення сприятливих умов формування злитка необхідною умовою є контроль технічного стану МХК МБЛЗ. Як показали дослідження, характер траєкторії руху кристалізатора відображає наявність і місце розташування дефектів в МХК і пов'язаний з технологічними і конструктивними параметрами зони початкового формування злитка.

Визначення поточного положення кристалізатора механічним способом не дає задовільних результатів через низьку роздільної здатності первинних перетворювачів (стрілочних індикаторів).

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
72						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

## **2.6 Апаратна реалізація оптоелектронної системи контролю механізму хитання кристалізатора**

Для проведення досліджень МХК були розроблені і виготовлені дослідно-промислові зразки системи контролю хитання кристалізатора.

Перший варіант системи контролю (рис. 2.5) виконаний у вигляді блок-модуля. Модуль являє собою каркас, який розміщений в захисному кожусі. Усередині каркаса розміщені: лазерне джерело спрямованого випромінювання з системою фокусування променя; блок живлення джерела з трансформатором; камера на основі матриці ПЗС з дешифратором лазерного сигналу, вбудованим в блок управління; контролер для обробки оптичної інформації; блок самописного приладу і виносної пульт управління з індикацією результатів вимірювань. Система пов'язана з цикловим датчиком, який встановлюється на валу тахогенератора двигуна приводу МХК.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
73						
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат		73

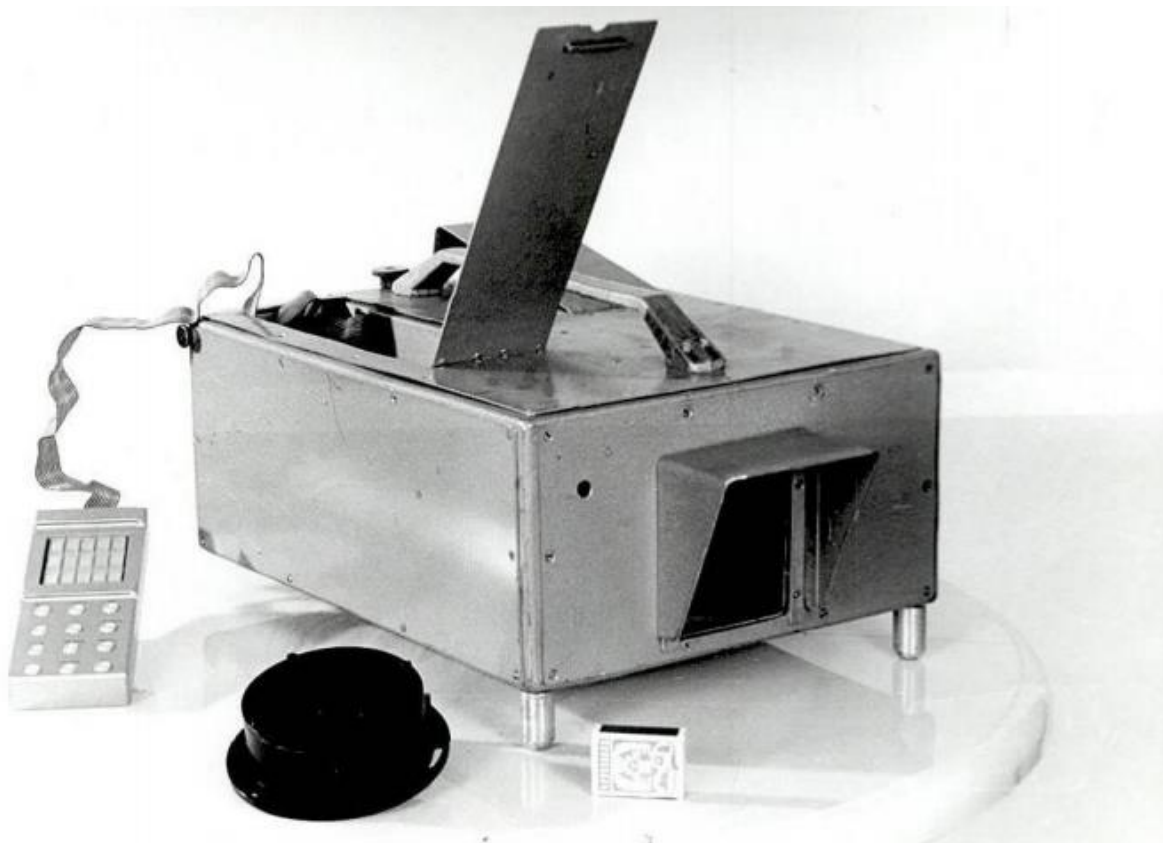


Рис. 2.5 Прилад контролю хитання кристалізатора (ПКК-1).

Як датчик контролю траєкторії руху кристалізатора, застосована камера на основі матриці ПЗС (постійної зарядного зв'язку), з допомогою якої зчитування зображення з екрану виходить при відображенні лазерного променя від дзеркала, встановленого на кристалізаторі. Телекамера використовує стандартний спосіб розкладання зображення на 625 рядків через рядок.

Система обробки траєкторних вимірювань складається з блоку візуального введення, пристроїв попередньої обробки інформації, пристроїв введення інформації в ЕОМ, обчислювача, пристроїв виведення, а також пристрої індикації і блоку реєстрації.

Система працює наступним чином. Пристрій візуального введення представляє собою камеру на основі матриці ПЗС(постійної зарядного зв'язку). Щоб передати інформацію, отриману на виході пристрої попередньої обробки

інформації, використані відповідні приймальні датчики. Як джерело випромінювання в пристроях використовується лазерний випромінювач ЛГМ - 201.

Крім того, для використання в пристрої розроблений спеціалізований обчислювач (ВУ). Обчислювач має цифрову індикацію результату обчислення десяткового коду центру плями, відповідно до алгоритму. У обчислювачі реалізована програма, написана на мові асемблера, яка забезпечує реалізацію трьох програмних режимів:

1-й - тестова програма роботи обчислювача. При цьому в трьох молодших розрядах індикації виводяться числа від 0.00 до 255 з частотою приблизно 2.5 Гц. У двох старших розрядах індикації виводяться положення перемикача "номер програми ВУ". У режимі тестування обчислювача працюють канал IFSS (токова петля) і аналоговий вихід.

2-й - передбачає індикацію в старшому розряді номера програми ВУ і в трьох молодших розрядах відображення коду центру відбитої світлової плями, зчитує з екрану телекамерою в діапазоні від 000 до 255. Цей ж код надсилається за паралельним каналу і на аналоговий вихід.

3-й - реалізує алгоритм визначення положення середньої лінії амплітуди хитання кристалізатора, протягом 20 циклів хитань після зміни режиму розливання, а так само відхилення зі знаком від цієї лінії в кожному наступному циклі хитання. При реалізації останнього режиму необхідною умовою є підключення циклових датчиків хитання кристалізатора і датчика контролю режиму розливання.

Другий варіант системи контролю (рис. 2.6) розроблений і виготовлений для стаціонарної установки під настилом розливної майданчики МБЛЗ.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
75						
Зм.	Док.	№ докум.	Підпис	Дат		75

Лазерне джерело спрямованого випромінювання з приймальною камерою на основі матриці ПЗС і блоком обробки оптичної інформації розміщені в герметичному корпусі, який виконаний у вигляді труби.

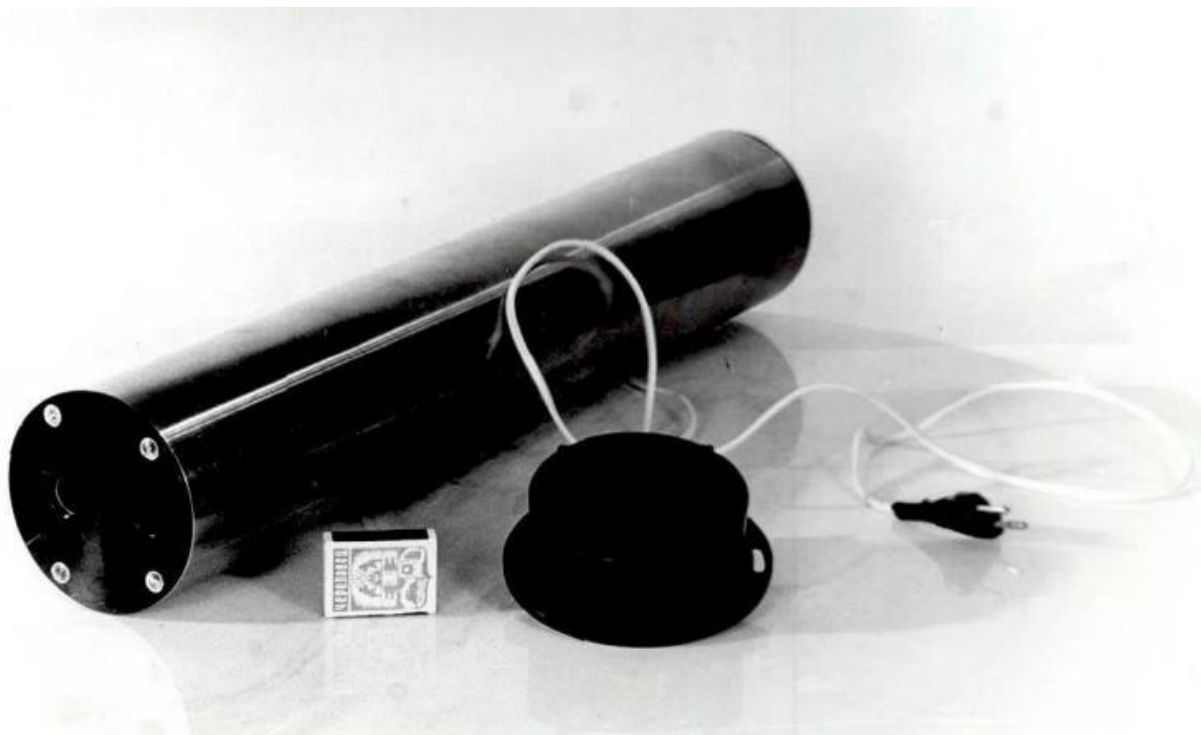


Рис. 2.6 Прилад контролю хитання кристалізатора (ПКК-2).

Вся система знаходиться в кожуху з повітряним охолодженням і позбавлена проблеми «засміченості» оптичного каналу (пил, волога, конденсат), оскільки передача оптичної інформації відбувається всередині герметичного «рукава».

Оброблена оптична інформація конвертується в цифровий сигнал і передається на ЕОМ верхнього рівня, яка встановлюється в ПУМ (Пульт управління машиною).

## 2.8 Програмне забезпечення реалізації оптоелектронної системи контролю механізму хитання кристалізатора

Алгоритм програми обробки інформації з камери ПЗС, введеної в ЕОМ (рис. 27) наступний. На перший введений байт накладається маска, що виділяє його молодший розряд. Номер розряду фіксується в лічильнику розряду. Якщо значення виділеного розряду дорівнює 1, то вміст лічильника підсумовується з коміркою пам'яті, де зберігається накопичена сума за весь полу-кадр, цей осередок на початку кожного полу-кадра обнуляється. Після операції підсумовування вміст лічильника розрядів збільшується на 1, а на байт інформації накладається нова маска, що виділяє наступний розряд. Якщо вміст виділеного розряду дорівнює 0, то операції підсумовування не відбуваються, а вміст лічильника розрядів просто збільшується на 1. Таким чином, в комірку суми накопичується сума адрес засвічених комірок  $A$  і якщо цю накопичену суму поділити на кількість засвічених комірок  $C$ , то отримаємо адресу центру плями засвітки, тому що пляма в загальному випадку має правильну форму, тобто координати в центрі плями на приймальному екрані в межах одного кадру.

Для машинної обробки сигналів траєкторних змін розроблено і проаналізовано програмне забезпечення в операційному середовищі MSDOS.

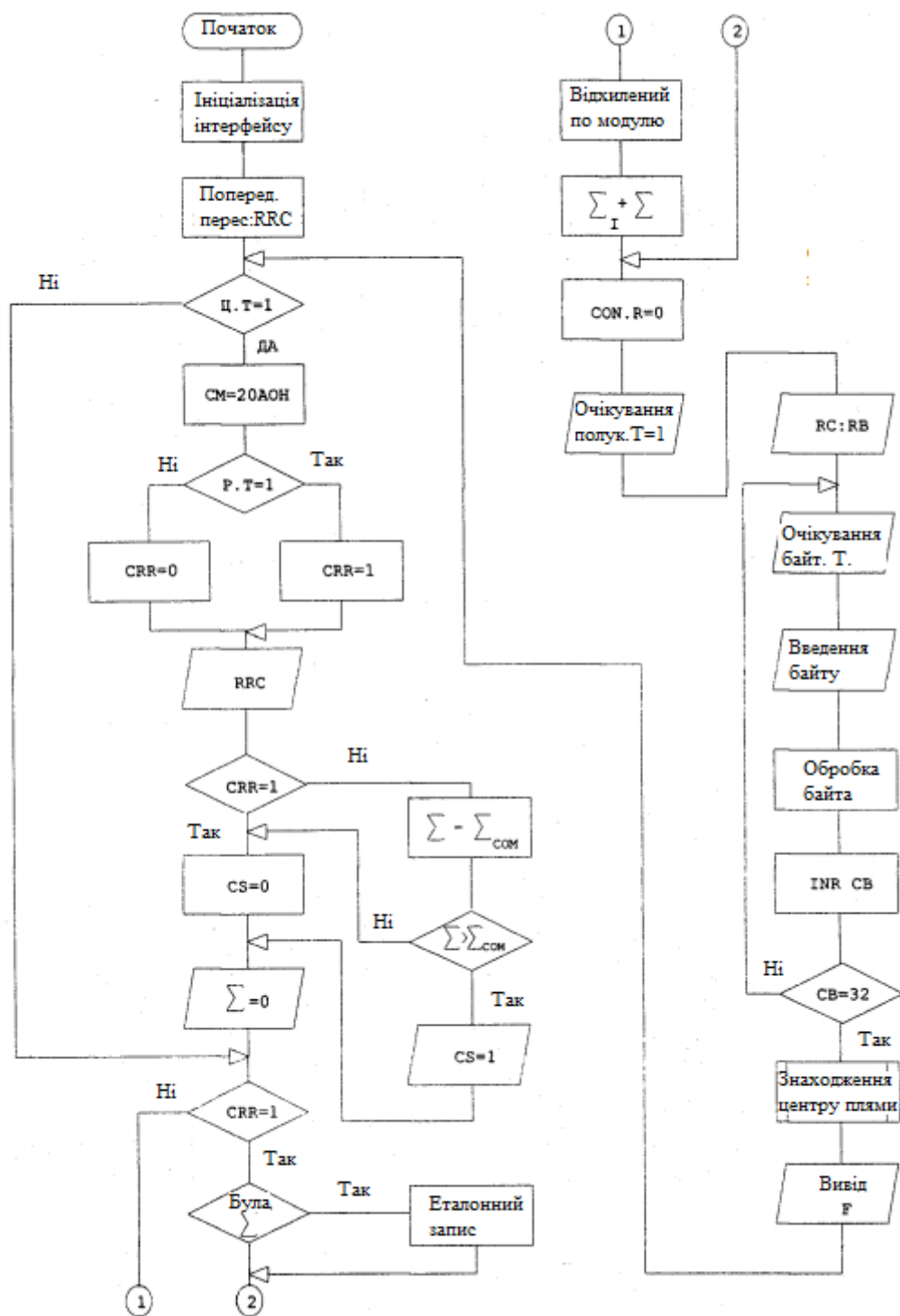


Рис. 2.7 Блок-схема обробки відеосигналу.

На екрані дисплея відображається лінія, що показує положення умовного середнього значення, еталонна і фактична синусоїди траєкторії руху кристалізатора, а також виводяться наступні значення:

- кількість оброблюваних точок в поточному кадрі розгортки;
- поточне значення середньої лінії траєкторії;
- різниця між максимальним і мінімальним значенням сигналу в поточному кадрі;
- характеристика дефекту в налаштуванні МКК;
- характеристика дефекту в опорах;
- характеристика люфту рами МКК;
- характеристика люфту ексцентрика;
- характеристика люфту вилки рами МКК;
- нормується величина.

Приклад запису видового екрану представлений на рис. 2.8.

Х.Х. ПРОГРАММА ЗАПУЩЕНА 04.03.98. В 15.32.06 T=46 Y=154 R=110 15/33/08

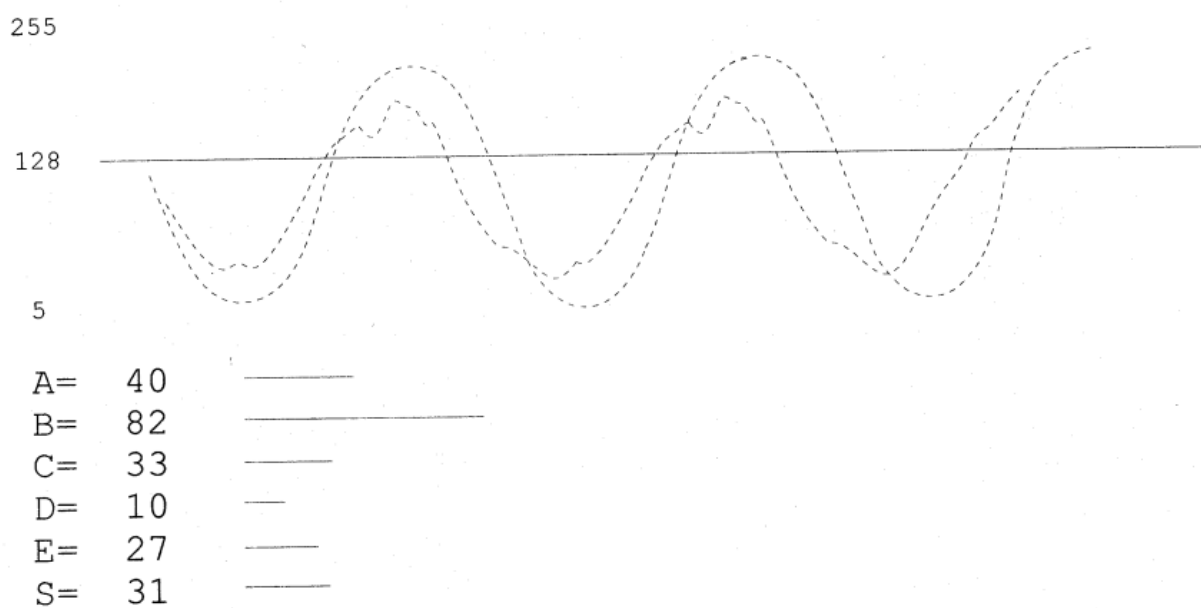


Рис. 2.8 Приклади обробки результатів вимірів на ЕОМ верхнього рівня.



Програмним забезпеченням передбачено адаптацію виведених параметрів до фактичного стану механізму. Метою адаптації є підбір порогових значень величин, що характеризують відхилення в роботі механізму та умов формування злитка, стосовно до конкретних умов розливання і конструкції механізму хитання кристалізатора.

Використання в системі експлуатації обладнання МНЛЗ стаціонарної системи контролю технічного стану МКК дозволяє мати постійну діагностичну інформацію. Застосування описаної системи, в комплексі з моделлю і програмним забезпеченням впливу люфтів в вузлах і з'єднаннях МХК на діагностуючий параметр, дозволяє з високою довірчою ймовірністю виявляти місце розташування і розмірні характеристики дефектів МХК, своєчасно проводити вибракування елементів механізму і попереджати аварійні ситуації.

## **2.9 Оптиелектронна система контролю положення роликів установки безперервного розливання сталі**

Найважливішим елементом надійної експлуатації обладнання в зоні початкового формування злитка є правильна початкова орієнтація криволінійних стінок кристалізатора щодо перших роликів секції «О».

З цією метою розроблено пристрій [21] рис. 2.9.

Пристрій містить затравку 1 і прикріплений до її торця додатковий елемент 2 у вигляді П-образних стійок з основою і блок обробки діагностичної інформації. Крім того, додатковий елемент має підпружинений щуп 3, який розташований в поперечному до роликів напрямку і пов'язаний з джерелом спрямованого випромінювання. Основа жорстко закріплена на затравці, а в стійках виконані поперечні пази 4, в яких встановлена з можливістю переміщення плита 5, поєднана з тягою 6. При цьому, щуп встановлений на торці тяги, а джерело спрямованого випромінювання 7 в плиті, в поздовжньому напрямку затравки.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
80							80
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Лат			

Між щупом і корпусом П - образних стійок розміщена пружина стиснення 9, а на основі стійок під плитою встановлено приймач спрямованого випромінювання 8.

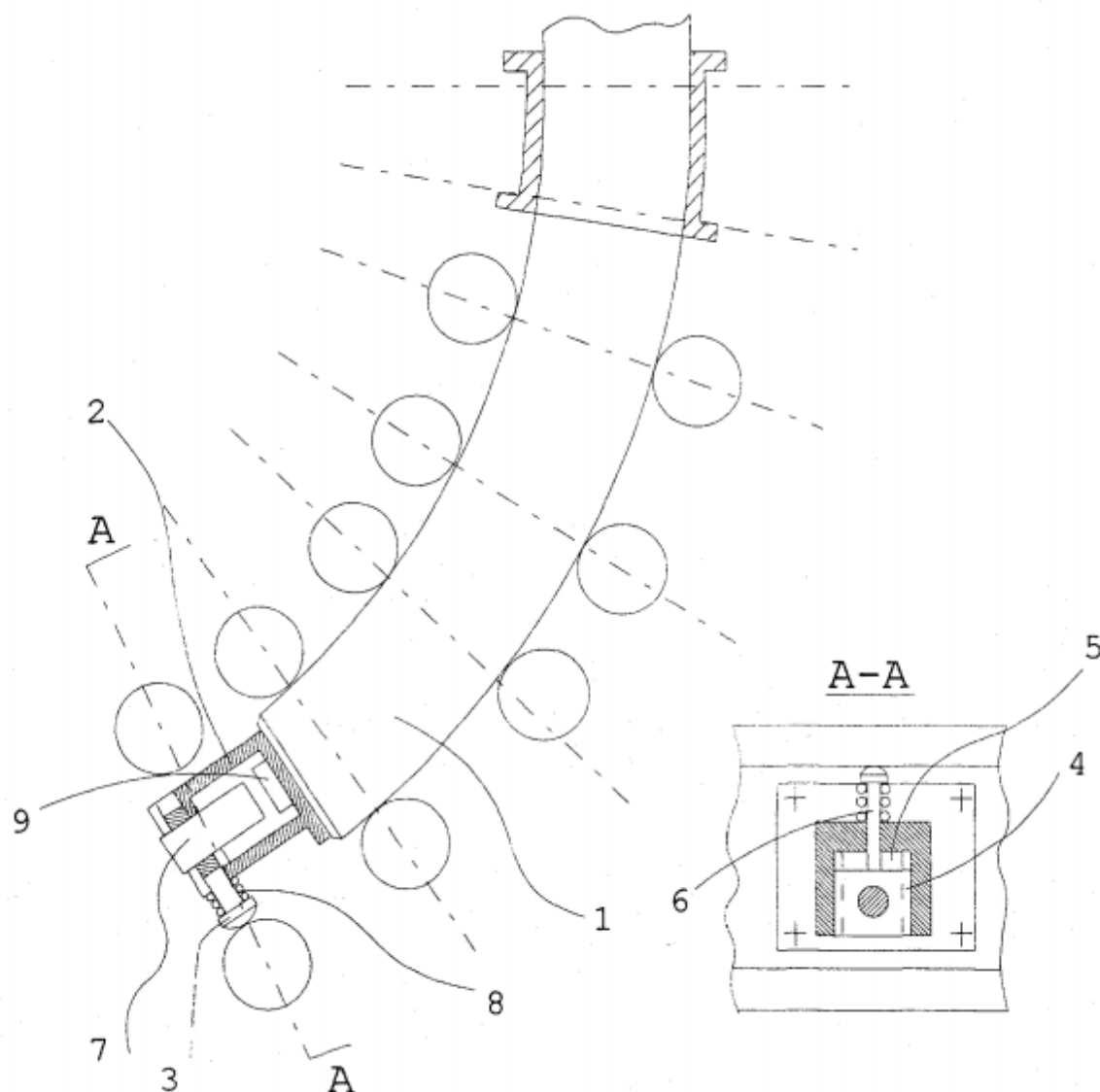


Рис. 2.9 Пристрій для контролю роликів МБЛЗ.

Пристрій працює наступним чином. При переміщенні початку вздовж технологічній осі МБЛЗ, відбувається одночасне переміщення додаткового елемента. При кожному наїзді вимірювального щупа на черговий ролик проводки відбувається переміщення тяги, яке передається на джерело спрямованого випромінювання, при цьому відбувається переміщення променя лазера по екрану приймального пристрою. Діагностичною інформацією є сигнал про переміщення променя лазера по екрану приймального пристрою. Діагностична інформація

ДП ПМ-61 07.000.ПЗ					81
81					
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат	

передається у вигляді цифрового сигналу і обробляється на ЕОМ за допомогою спеціального програмного забезпечення.

## 2.10 Визначення основних показників технологічності

Абсолютний техніко – економічний показник трудомісткості виготовлення  $T_u$  виражається сумою нормо – годин, які були затрачені на виготовлення виробу  $T_u = \sum_i T_i$ , де  $T_i$  - трудомісткості виготовлення та дослідження  $i$  – тої складової частини виробу в нормо – годинах.

Рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення  $K_{у.т.}$  визначається, як відношення досягнутої трудомісткості  $T_B$  до базового показника трудомісткості виготовлення  $T_{Б.В.}$ .

В прилад входить п'ять складальних одиниць (Блок живлення  $T_i=1$ , приймач випромінювання  $T_i=1$ , щуп  $T_i=1$ , блок обробки інформації  $T_i=1$  та лазерне джерело  $T_i=1$ ) і 4 деталі (корпус  $T_i=1$ , гвинт  $T_i=20$ , плита  $T_i=1$ , пружина  $T_i=1$ ).

За формулою (2.1) визначаємо абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення  $T_u$  :

$$T_u = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 = 5 + 20 + 1 + 1 + 1 = 28 \text{ (норм -годин).}$$

$$T_{Б.В.} = 30 \text{ н.год.}$$

$$K_{у.т.} = \frac{T_B}{T_{Б.В.}}. \quad (2.1)$$

$$K_{у.т.} = \frac{28}{30} = 0.95.$$

Попередній розрахунок  $K_{у.т.}$  в процесі проектування приладу можна проводити по попереднім розрахункам трудомісткості виготовлення основних складових частин, використовуючи досвідно – статистичні дані по виробам – представникам та коригуючим коефіцієнтам.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
82						82
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Технологічна собівартість виробу  $C_T$  визначається як сума затрат на одиницю виробу:

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ц.в.}, \quad (2.2)$$

де  $C_M$  – коштовність матеріалів, затрачених на виготовлення виробу;

$C_3$  – заробітна платня працівників з нарахуваннями;

$C_{ц.в.}$  – цехові затрати, які включають в себе затрати на електроенергію, яку споживає обладнання, на ремонт та амортизацію обладнання, інструменту, на змащуєчи, охолоджуючі, обтирочні та інші матеріали, які передбачені процесом виготовлення виробу.

$$C_T = 24000 + 5671,41 + 62,5 = 29733,91$$

Рівень технологічності конструкції по технологічній собівартості визначається, як відношення досягнутої собівартості виробу  $C_T$  та технологічної собівартості базового виробу  $C_{Б.Т.}=31000$  грн.:

$$K_{р.с.} = \frac{C_T}{C_{Б.Т.}}. \quad (2.3)$$

$$K_{р.с.} = \frac{29733,91}{31000} = 0,97$$

Попередній розрахунок  $K_{р.с.}$  В процесі проектування виробу можна виконувати за приближеними розрахунками собівартості основних складових частин, використовуючи дослідно – статистичні дані по виробам – представникам та корегуючі коефіцієнти.

## 2.11 Схема складального складу

На основі аналізу конструкторської документації складається схема складального складу. Побудова таких схем дає можливість визначити конструктивні та складальні елементи приладу та їх взаємозв'язок, а також уявити

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
83						83
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат		

проект технологічного процесу зборки. Схема складального складу(див. рис. 2.10) використовується для аналізу та синтезу приладу та процесу зборки.

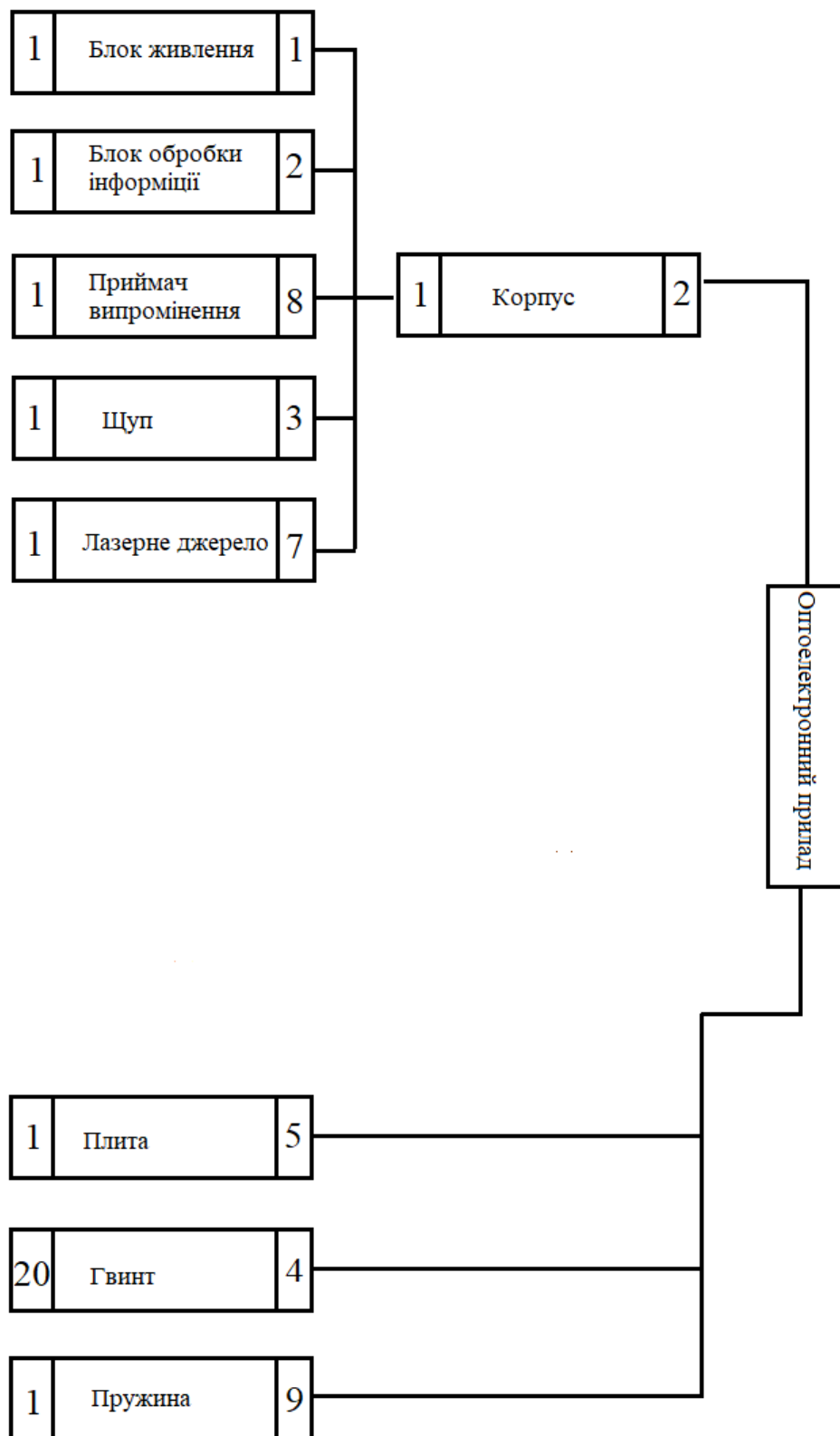


Рис. 2.10 Складальна схема оптоелектронного пристрою.

Під аналізом треба розуміти ступінь розбирає мості приладу в процесі зборки. Під синтезом приладу та збіркового процесу треба розуміти прийняття правил побудови приладу з його елементів та складального процесу його операцій та їх частин.

Схема складального складу використовуються для аналізу та синтезу приладу та процесу складання. Під аналізом потрібно розуміти ступінь розкладання приладу в процесі складання. Під синтезом приладу та складального процесу розуміють прийняття правил побудови приладу з його елементів та складального процесу його операцій та їх частин. Схему можна використовувати як диспетчерський документ, по якому вигідно слідкувати за процесом виготовлення виробу та застосовувати міри, якщо готовність тих або інших елементів не відповідає графіку. В той же час схема складального складу не дає уявлення про послідовність складання та способу забезпечення з'єднання.

## 2.12 Технологічна схема складання

Послідовність складання, способи забезпечення з'єднань, періодичність та зміст процесу регулювання, іспитів та контролю визначає технологічна схема складання. Технологічна схема складання показана на рис. 2.11.

Технологічна схема складання дозволяє вносити зміни в конструкцію приладу, які спрощують технологічний процес. Вона допомагає аналізувати конструкцію приладу з технологічної точки зору, дозволяє вносити зміни в конструкцію приладу, які спрощують технологічний процес.

Проектування технологічного процесу складання включає в себе вибір найбільш раціональних процесів та способів зборки, визначення послідовності з'єднання деталей та складальних одиниць, регулювання та контролю виробу з призначенням обладнання, робочих та вимірювальних інструментів.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
85							85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат			

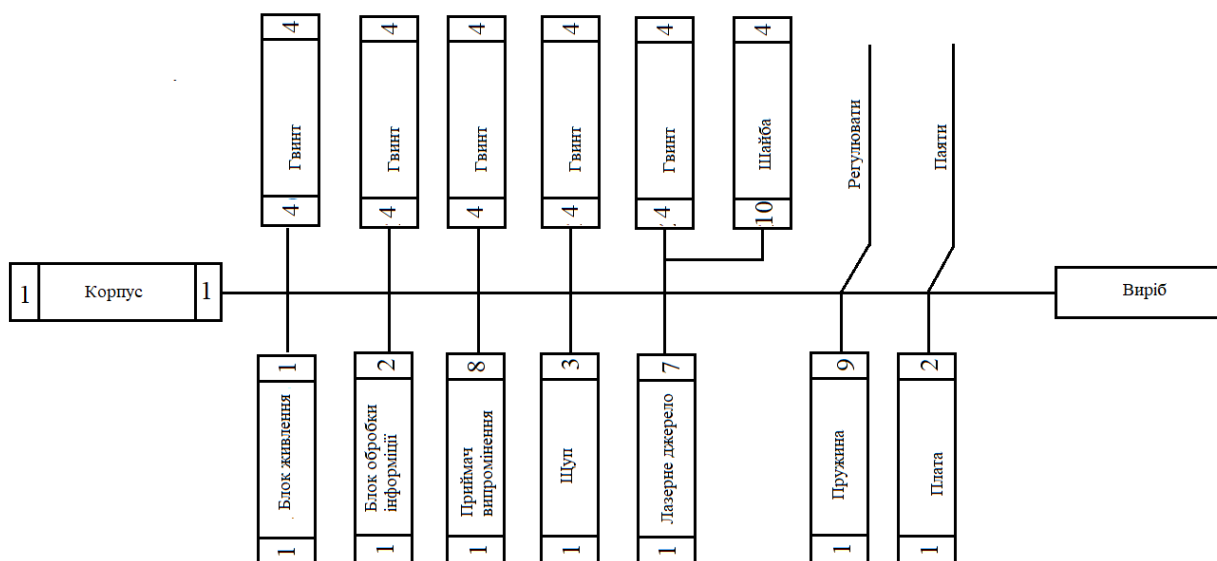


Рис. 2.11 Технологічна схема складання оптоелектронного пристрою.

При цьому потрібно передбачати всі заходи для забезпечення заданої програми випуску виробів повністю відповідаючи технічним умовам, скорочення трудомісткості, зниження ціни виробу.

## 2.13 Технологічний процес складання

Проектування технологічного процесу зборки складається з наступних етапів:

- на основі аналізу конструкторської документації розроблюється схема складального складу та технологічна схема зборки;
- обираються організаційні форми зборки з урахуванням особливостей виробу, річної програми випуску та ін.
- проводиться вибір методу зборки виходячи з потреб взаємозамінності та прийнятої організаційної форми зборки;
- обирається технологічний маршрут зборки;
- обирається обладнання робочих місць у відповідності з визначенням зіркових операцій;

- обирається універсальна та проектується спеціальна оснастка;
- для отримання зіркових операцій підбираються допоміжні матеріали;
- встановлюють режими роботи для кожної операції;
- проводиться нормування операції.

Одним з головних моментів при проектуванні технологічного процесу є розробка маршруту складання, яка виявляє у собі перелік операцій в порядку їх виконання. При становленні послідовності операцій необхідно дотримуватись таких принципів:

- початкові операції не повинні ускладнювати виконання наступних операцій та в наступних операціях точність складання повинна збільшуватись;
- при точному складанні розбивка процесу на операції диктується процесом складання;
- операції, на яких можливий брак, виконуються спочатку, а після них виконується операція контролю.

Маршрутний технологічний процес оформлюється в маршрутні карти відповідно до ГОСТ 3.1105.74.

Маршрутна карта:

1. Пайка ( припій плати до блоку керування)
2. Закріплення гвинтом ( закріпити блок живлення, блок обробки інформації, лазерне джерело, щуп, приймач випромінення у корпусі, все запчастини кріпити на 4 гвинти).
3. Регулювати ( регулювати пружину, для точної роботи приладу).

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
87							87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат			



## 2.14 Визначення фізичної (параметричної) взаємозамінності

Для визначення параметрів руху роликів в приладі застосований оптичний метод. В основі цього методу лежить вимірювання координат променя з урахуванням положення злитку. Необхідно визначити похибку часу проходження реакції щупа на надання дії лазеру.

Час реакції щупа визначається за формулою:

$$T = \frac{V * S}{k}$$

де k- жорсткість пружини.

S – площа головки щупа.

V- швидкість руху слябу.

Похибка часу проходження викликана відхиленням початкових параметрів в межах допуску прилада. До таких параметрів відносяться:

$$V=(0,5\pm0,1) \text{ м/с.}; \quad S=(0.13 \pm 0.002) \text{ м}^2;$$

$$k = (50 \pm 0.2) \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Значення допусків на вказані параметри взяті з технічних умов на прилад.

При  $V = 5 \text{ м/с}$  та середніх значеннях випадкових змінних коефіцієнтів, отримаємо похибку часу спрацювання щупу :

$$T = 1,3 * 10^{-3}(\text{с}).$$

Отримана похибка складає 3% так як не враховується час потрапляння інформації на ЕОМ та її обробки. Якщо отримана похибка не відповідає вимогам експлуатації то її можна зменшити шляхом покращення системи прийняття та обробки сигналу.

## 2.15 Розрахунок складальної одиниці на точність

До приладів пред'являються вимоги по точності показів або на вихідні параметри при заданих умовах експлуатації. При цьому повинна забезпечуватись надійність роботи та забезпечуватись потрібний строк служби. Всі ці вимоги забезпечуються вірним та надійним вибором принципової схеми приладу та його конструкції, а також технологією виготовлення деталей та зборки приладу. Одним з основних умов технологічності конструкції приладу при виконанні зборки в серійному та масовому виробництві є взаємозамінність збірних одиниць та деталей.

В процесі виготовлення приладів не можна обійтись без похибки в виготовленні деталей та збірних одиниць. Тому вихідні параметри збірних одиниць та приладів відрізняються від номінальних значень. Врахувати вплив на вихідні параметри збірних одиниць або приладу – це означає здійснити розрахунок геометричної точності та розрахунок приладу на фізичну взаємозамінність.

Необхідна точність зборки (геометрична точність) може забезпечуватись різними методами в залежності від вимог точності та програми випуску. В приладобудуванні застосовують п'ять методів забезпечення точності:

- метод повної взаємозамінності;
- метод часткової (неповної) взаємозамінності;
- метод підбору (групова взаємозамінність);
- метод регулювання;
- метод пригонки (підбір або виготовлення “по місту”).

## 2.16 Висновки по розділу

1. В результаті проведених досліджень встановлено, що рух захисної плити кристалізатора багато в чому носить випадковий характер і лише побічно

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
89						89
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат		

відображає характер руху кристалізатора, тому контроль траєкторії хитання необхідно проводити при установці дзеркала-відбивача на комірці кристалізатора.

2. Зменшення амплітуди руху відбитого променя, по екрану приймального пристрою, при одночасному збереженні необхідного значення амплітуди хитання кристалізатора, свідчать про те, що в циклі хитання відбувається відхід кристалізатора від проектної траєкторії з радіусом 10 м і амплітудою 6мм, до фактичної з радіусом 20 м, при цьому, максимальне відхилення верхнього краю кристалізатора, внаслідок спотворення траєкторії його руху з радіуса  $r = 10$  м на радіус  $R = 20$  м, становить:  $\Delta\gamma \approx 0,15\text{мм}$ . Зазначені вище явища призводять до зародження ребрових тріщин, отже, негативно позначаються на якості виробленого безперервнолитого металу.

3. В результаті експериментальних досліджень хитань кристалізатора і стану механізму його хитання підтверджено наявність пружних хитань, кінематичні параметри яких можна порівняти з розрахунковими параметрами, отриманими при розрахунках без урахування пружності ланок. Це дозволяє припустити, що пружні хитання можуть відігравати суттєву роль при реалізації руху кристалізатора.

4. Аналіз вимушених коливань кристалізатора і фундаменту при непрацюючому і працюючій механізм хитання показав, що можливе кінематичне обурення механізму з частотами хитань, близькими до робочих частотам обертання кривошипа механізму.

5. Розглянуто варіант оптоелектронної системи контролю стану МХК, призначена для стаціонарної установки під настилом розливної майданчики, а також програмне забезпечення для накопичення та обробки діагностичної інформації на ЕОМ верхнього рівня, одержуваної на основі аналізу відхилень від проектної траєкторії руху кристалізатора.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
90							90
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат			

6. Впровадження зазначеної оптоелектронної системи контролю стану МХК в досвід експлуатації обладнання МБЛЗ дозволить забезпечити безперервне отримання об'єктивної діагностичної інформації про технічний стан та якість настройки механізму.

7. Розглянуто пристрій, що дозволяє зробити первинну установку криволінійних поверхонь кристалізатора щодо роликового проводки МБЛЗ.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
91						
Зм.	Авк.	№ докум.	Підпис	Дат		91

## Висновки

За результатами практичних і експериментальних досліджень розглянуто рекомендації до вдосконалення методики розрахунку механізму хитання кристалізатора криволінійної МБЛЗ, а також рекомендації до вдосконалення методів і засобів діагностики його технічного стану. В ході досліджень проведені наступні роботи:

1. Розглянуті основні складові МБЛЗ та їх види. Вплив зміни параметрів МБЛЗ на заготовку, та види основної продукції.

2. Розглянута еквівалентна кінематична схема МХК і математична модель, на основі яких виконано розрахунково-теоретичний аналіз впливу зазорів в підшипникових вузлах і з'єднаннях механізму на характеристики траєкторії руху кристалізатора. Встановлено, що навіть при відносно невеликих люфтах в вузлах і з'єднаннях МХК можливе значне відхилення від проектної траєкторії руху кристалізатора.

3. На основі аналізу експериментальних результатів розглянута математична модель впливу дефектів в роботі механізму на деформацію оболонки безперервнолитого злитка, використання якої в практиці безперервного розливання дає можливість безпосередньо впливати на якість безперервно-ливої заготовки.

4. Проведено оцінку динамічних параметрів МХК, визначені частоти власних і вимушених коливань системи. Встановлено, що при певних формах власних коливань на робочих частотах хитання (60 і 120 хит / хв), можлива поява резонансу. З урахуванням сил, прикладених до механізму хитання кристалізатора, і динамічних параметрів механізму, без урахування пружності ланок, істотно зростає швидкість і прискорення вихідної ланки (кристалізатора), причому з урахуванням маси злитка, пікові значення швидкості і прискорення збільшуються приблизно в два рази, тобто динамічний вплив на злиток збільшуються не менше,

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
92							92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

ніж на 60%. Для поліпшення динамічних якостей механізму хитання кристалізатора рекомендується змінити його динамічні параметри за рахунок коригування наведених інерційних і пружних коефіцієнтів.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
93						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		93

## Література

1. Кузьминов А.Л., Чумаков СМ., Кабаков З.К., Титов О.П.

Прогнозирование подвисяний оболочки металла в кристаллизаторе на основе траек - торных изменений. // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства: материалы I Международной наughtотехнической конференции. Череповец, 1998. С.44-46.

2. Кудрин В. А. Металлургия стали. Учебник для вузов. – Москва: Метталургия , 1989. – 560 с. - ISBN 5-229-00234-4.

3. Газотермічне наплення [Електронна адреса]: Вікіпедія. Вільна енциклопедія.–Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Газотермічне\\_наплення](https://uk.wikipedia.org/wiki/Газотермічне_наплення).

4. Качание (осцилляция) кристаллизатора и влияние его параметров на формирование заготовки [Електронний ресурс] – [Веб-сайт] – Електронні дані – Режими доступу: <https://uas.su/books/mnlz/3.3.1/razdel331.php> (Дата звернення 04.04.2020) – Назва з екрана

5. «Материалы XV международной молодежной научной конференции «Севергеозкотех-2014». – Ухта, 2014.

6. Цупрун А. Ю. Системы управления процессами и механизмами машин непрерывного литья заготовок. Киев: Украинская Ассоциация Сталеплавильщиков;

7. Чернышев Н. Н., Комбинированная система автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. обчислювальна техніка та автоматизація, випуск №2(25). – Донецьк: ДонНТУ. – 2013, С. 72–78;

8. Опыт использования акселерометрической системы технологического контроля кристаллизатора /СМ. Чумаков, А.Н. Сорокин// Сталь.-1998.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
94							94
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат			

№6.-с.17-19.-Рус.

9. А.с. 1369867 (СССР). МКИ В 22 D 11/16. Способ автоматического контроля работы механизма качания кристаллизатора. / Щеголев А.П., Николаев Б.Н., Вологжанинов И.В., Демин Г.П., Лунев А.Г. и Шутин А.В. Оpubл. 30.01.88. Бюл. № 4.

10. А.с. 1419795 (СССР). МКИ В 22 D 11/16. Устройство автоматического контроля механизма качания кристаллизатора. / Вологжанинов И.В., Кулага А.А., Щеголев А.П., Николаев Б.Н., Краснов Б.И. и Сайкович В.Л. Оpubл. 30.08.88. Бюл. № 32.

11. Merici technika pro zarizeni plenuleho liti / Seminar fy ABB, cerven 1989, VUI Dobra.

12. Техничко-коммерческое предложение фирмы "Mannesmann Demag AG" на поставку криволинейной МНЛЗ в конвертерное производство ОАО "Северсталь". 1997 год.

13. Кузьминов А.Л., Титов О.П., Чумаков СМ., Кабаков З.К., Щеголев А.П. Исследование взаимосвязи технического состояния механизма качания кристаллизатора МНЛЗ с характеристиками траектории его движения. // Технология и оборудование сталеплавильного и прокатного производства. Всероссийский сборник научных трудов. Выпуск 1. Череповец, 1997. С.17-14. Кузьминов А.Л., Чумаков СМ., Кабаков З.К., Титов О.П. Диагностика работы механизма качания кристаллизатора МНЛЗ на основе оптоэлектронной системы. // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства: материалы I Международной наuchнотехнической конференции. Череповец, 1998. С.48-52.

15. Кузьминов А.Л., Тихановский В.А., Титов О.П., Чумаков СМ. и др. Оптоэлектронные системы контроля геометрических и технологических параметров металлургического оборудования // Оптические, радиоволновые,

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
95							95
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Лат			



тепловые методы и средства контроля природной среды, материалов и промышленных изделий: материалы VII Международной научно-технической конференции. Череповец, 1997. С80-81.

16. Кузьминов А.Л., Торшхоев Р.М., Клочай В.В. и др. Диагностирование металлоконструкций и оборудования с использованием оптоэлектронных систем на основе лазеров. // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности металлических конструкций и методы их решения : Материалы международной конференции Санкт-Петербург, 1995. с.127-129.

17. Кузьминов А.Л., Клочай В.В., Тихановский В.А. и др. Информационное обеспечение непрерывной разливки стали на АО «Северсталь» / Информационные технологии в производственных, социальных и экономических процессах: Материалы международной конференции. Череповец: ЧГИИ, 1996. с.74-76.

18. Клочай В.В., Тихановский В.А. Методы и технические средства оптоэлектронного контроля геометрических и технологических параметров металлургических агрегатов // Тепловые процессы в технологических системах : Всерос.сб.научных трудов. Выш.2. Череповец: ЧГИИ, 1996. с.63-68.

19. Титов О.П., Кузьминов А.Л., Щеголев А.П., Чумаков СМ., Кабаков З.К. Оптоэлектронная система контроля технического состояния механизма качания кристаллизатора МНЛЗ. // Оптические, радиоволновые, тепловые методы и средства контроля природной среды, материалов и промышленных изделий: материалы VII Международной наuchнотехнической конференции. Череповец. 1997. С.55.

20. Кузьминов А.Л., Чумаков СМ., Кабаков З.К., Титов О.П. Прогнозирование подвисаний оболочки металла в кристаллизаторе на основе траек - торных изменений. // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
96							96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат			

производства: материалы I Международной наuchнотехнической конференции.  
Череповец, 1998. С.44-46.

21. Эффективность микропроцессорных систем контроля состояния оборудования МНЛЗ/ Тихановский В.А., Кузьминов А.Л., Щеголев А.В., Лебедев В.И.// Сталь.- 1993.-№ 1.-с.38-41.Рус.

22. Чумаков СМ., Кузьминов А.Л., Титов О.П., Щеголев А.П. и др. Устройство для контроля положения роликов установки непрерывной разливки металлов  
Положительное решение по заявке N 97111126/02 от 27.11.97, приор.30.06.97 г.  
МПК6 B22D 11/16.

23. А.С. 1704910 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора.  
/ Матвеев В.В., Хайдаров Р.Х., Матвеев Ю.В., Бойко Ю.П., Рожков А.Г.,  
Угодников А.Л., Богословский А.К., Дубровин Г.Л. и Луковников В.С. Оpubл.  
15.01.92. Бюл. № 2.

24. Пат. 2030246 (РФ). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора.  
Матвеев В.В., Хайдаров Р.Х., Матвеев Ю.В., Бойко Ю.П., Рожков А.Г.,  
Богословский А.К. Оpubл. 10.03.95. Бюл. № 7.

25. А.с. 1692723 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора.  
/ Рубинштейн Ю.Е., Морозов А.С. и Танцуренко А.Н. Оpubл. 23.11.91. Бюл. №43

26. А.с. 1215848 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора.  
/ Целиков А.А., Тимохин О.А., Ротенберг А.М., Ванинский М.М. и Макаров В.Г.  
Оpubл. 07.03.86. Бюл. № 9.

27. А.с. 1044416 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора.  
/ Санников И.С. и Янковой В.А. Оpubл. 30.09.83. Бюл. № 36.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ		
97							97
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Лат			

28. А.с. 1447545 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора машины непрерывного литья металла. / Тимохин О.А., Луковников В.С., Угодников А.Л., Матвеев В.В. и Киселев Э.Н. Опубл. 30.12.88. Бюл. № 48.
29. А.с. 605673 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Потапенко В.К., Богословский А.К., Софийский П.И., Смоляков А.С., Кожевников И.Е. и Тимохин О.И. Заявл. 27.12.74. Опубл. 05.05.78. Бюл. № 17.
30. А.с. 1731412 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Способ перемещения кристаллизатора при непрерывной разливке металла. / Гончаревич И.Ф., Еланский Т.Н., Аверин А.С., Бекасов А.А. и Глухарев К.К. Опубл. 07.05.92. Бюл. №7.
31. А.с. 1225678 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Левин М.З. и Левин П.А. Опубл. 23.04.86. Бюл. № 15.
32. А.с. 1026937 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Левин М.З. и Левин П.А. Опубл. 07.07.83. Бюл. № 25.
33. А.с. 1044415 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Проскурин В.И. и Левин П.А. Опубл. 30.09.83. Бюл. № 36.
34. Пат. 2043838 (РФ). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Дубровин Г.Л., Макаров В.Г., Богословский А.К., Матвеев В.В., Угодников А.Л., Лебедев В.И., Зубрев О.И., Андреев А.П., Какабадзе Р.В. Опубл. 20.09.95. Бюл. № 26.
35. А.с. 1047580 (СССР). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Левин М.З. и Левин П.А. Опубл. 15.10.83. Бюл. № 38.
36. Пат. 2043837 (РФ). МКИ В 22 D 11/04. Механизм качания кристаллизатора. / Дубровин Г.Л., Макаров В.Г., Богословский А.К., Луковников В.С., Хайдаров

Р.Х., Лебедев В.И., Зубрев О.И., Андреев А.П., Какабадзе Р.В. Оpubл. 20.09.95.  
Бюл. № 26.

37. Техничко-коммерческое предложение фирмы "Mannesmann Demag AG" на поставку криволинейной МНЛЗ в конвертерное производство ОАО "Северсталь". 1997 год.

38. Техничко-коммерческое предложение фирмы "SMS" на реконструкцию криволинейной слябовой МНЛЗ в конвертерном производстве ОАО "Северсталь". 1996 год.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
99						
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		99

ДОДАТКИ

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
100						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ГОРЯ СКОРСЬКОГО»  
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*ХІМ Науково-практична конференція студентів, аспірантів та  
моподих вчених*

# "ПОГЛЯД МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

13-14 травня 2020 р.  
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2020

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
101						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 100 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:  
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3/20 від 27.04.2020 р.).

Відповідальний редактор — С.Л. Лакоза — к.т.н., доц.  
В авторській редакції.

Збірник праць XIII Всеукраїнської науково—практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 13-14 травня 2020р. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. — 2020. — 395 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

					ДП ПМ-61 07.000.ПЗ	
102						
Зм.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### **СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ**

<i>О. Sokolova., Student, S. Vysloukh, PhD, Associate Professor</i> MODELING OF TITANIUM ALLOYS PROCESSING PARAMETERS .....	84
<i>О. Sokolova., Student, S. Vysloukh, PhD, Associate Professor</i> MODELING OF PARAMETERS OF THE MILLING OF PARTS FROM HEAT- RESISTANT STEEL .....	88
<i>Бельман О.І., студент групи ПБ-61, доц., к.т.н. Стельмах Н.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ НА БАЗІ ВІЗУАЛЬНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ .....	92
<i>О.С. Голодний, студент гр. ПБ-91мп</i> ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА .....	95
<i>О.В. Кирієнко, студент гр. ПБ-91мп</i> СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВІТРОДВИГУНА .....	98
<i>К.В. Крушинських, студент гр ПМ-61, професор Гераїмчук М.Д.</i> ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК (СЛЯБІВ) В МЕТАЛУРГІЇ .....	101
<i>В.Ю. Марченко, студент гр. ПБ-81, к.т.н., ст. викладач Матвієнко С.М.</i> МЕТОДИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ .....	105
<i>І.В. Масненко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВНІ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ .....	109
<i>В.В. Потієнко студент гр. ПБ-61, асистент Волошко О.В.</i> МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ .....	112
<i>Д.М. Проскурєнко, студент гр. ПБ-61</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРАМИ .....	116
<i>Д.М. Проскурєнко, студент гр. ПБ-61</i> РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО МАНІПУЛЯТОРА .....	119



УДК 534

*К.В. Крушинських, студент гр ПМ-61, професор Гераїмчук М.Д.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК (СЛЯБІВ) В МЕТАЛУРГІЇ**

**Анотація.** В даній статі розглянуто процес виробництва слябів в металургії за допомогою машини безперервного лиття заготовок.

**Ключові слова:** металургія, машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), кристалізатор, заготовка.

#### **ВСТУП**

Металургійні підприємства, при виготовленні слябів за допомогою технології неперервного лиття заготовок, використовують машину неперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Однією з найважливіших частин машини є кристалізатор, від якості роботи якого визначається якість заготовки в цілому. Тому для дотримання режимів його роботи, траєкторії руху та покращення якості злитка, такі машини потребують використання систем моніторингу та діагностики механізму хитання кристалізатора.

Користуючись системами контролю параметрів руху кристалізатора ми можемо оцінити правильність налаштування обладнання, перевірити справність ливарного обладнання в надзвичайно короткий термін та запобігти можливим зламам та надзвичайним ситуаціям. Процес лиття заготовок дуже складний та небезпечний, тому працівники підприємства дуже залежать від справності обладнання ливарних установок. При аваріях на МБЛЗ іноді відбуваються людські жертви, підприємство несе значні фінансові втрати через простой виробництва.

#### **МАШИНА БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК (МБЛЗ)**

УНРС (установка неперервного розливання сталі) - металургійний агрегат для розливання сталі, перша назва цієї машини, але згодом була витіснена аббревіатурою «МБЛЗ» [1].

МБЛЗ – машина безперервної розливки заготовок.

Даний спосіб виготовлення заготовок було винайдено ще у середині 19 століття Г. Бессемером. Перші спроби виготовлення заготовок таким способом скінчились крахом. Лише в 30-х машини безперервного лиття отримали такий вид як і сьогодні, лиття через кристалізатор, який постійно охолоджувався. Цей спосіб підходить під різні типи металу, заготовки вироблялись як з чорних металів так і з кольорових металів та їх сплавів. Перша установка безперервного лиття заготовок у СРСР була впроваджена у промисловість в 1955 році на заводі «Червоне Сормово» [1].

МБЛЗ вертикального типу найкращим чином забезпечує оптимальні умови кристалізації та витягування злитку, але така установка потребує значної висоти опорних конструкцій, тому зростають капітальні витрати на будівництво.

Висота МБЛЗ з вигином злитка і радіальна менше, ніж вертикальна. Здійснюється вигин злитку, що перекладає його у горизонтальне положення в установці. У машини безперервного лиття заготовок радіального типу сам кристалізатор має форму дуги певного радіуса заокруглення. При виході з

кристалізатора злиток потрапляє в жорсткі кліти вторинного охолодження, складені з роликів секцій, охолоджуваних системою водяних форсунок.

Величина радіусу заокруглення кристалізатора МБЛЗ визначає в основному висоту установки. Радіус заокруглення кристалізатора і клітей вторинного охолодження розраховують таким чином, щоб при виході в горизонтальне положення заготовка повністю затверділа.

Кристалізатор – мідна, порожниста зсередини посудина, певної геометричної форми, яка не має дна. Установка, яка служить для перероблення матеріалу з розплавленого стану у твердий продукт певної форми. Затвердіння розплавленого матеріалу відбувається шляхом його охолодження до температури кристалізації. Кристалізатор МБЛЗ працює як теплообмінник, задачею якого є швидке відведення тепла від сталі, що проходить через нього. Через те, що кристалізатор виконується з міді, яка піддана дифузії, виникає брак – тріщини на поверхні злитку.

Представлений промисловий кристалізатор слябової машини неперервного лиття заготовок (див . рис. 1), сталь в який подається шляхом спеціального розливного ковша.

При контакті розплавленого металу з кристалізатором в області контакту утворюється скоринка, це відбувається за рахунок охолодження металу, адже мідь у кристалізаторі має добру теплопередачу. При процесі формування твердої скоринки можливе прилипання металу на поверхню кристалізатора. Це негативно впливає на якість металу, бо в кінці виникає напруження розтягу, які виникають під час витягування заготовки з кристалізатора.



Рисунок 1. Кристалізатор слябової МНЛЗ

Щоб запобігти прилипанню та подальшому розриву новоутвореної тонкої кірки кристалізатор піддають зворотню поступальному руху вгору-вниз у напрямку ходу заготовки. Цей процес відбувається внаслідок роботи механізму гойдання який приєднано до кристалізатора.

Така технологія розливки сталі для сортових та листових заготовок, виділяється техніко-економічними перевагами в порівнянні з виготовленням заготовок із злитків:

- Поліпшення умов праці для працівників, адже при такому виготовленні зменшується кількість важких робіт.
- Процес підготовки МБЗЛ є механізований та майже автоматизований аж до різання та сортування заготовок.
- Зменшення капітальних та експлуатаційних витрат, адже відсутні обтискні стани.
- За рахунок автоматизації та механізації досягається сталість умов виробництва і підвищується продуктивність праці.

### **ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА**

Процес виробництва заготовок (див. рис. 2), полягає в циклічному процесі розливу, охолодженні та кристалізації, різанню на мірні довжини.

Розглянемо процес отримання заготовки:

Перед початком розливки сталі, в кристалізатор вводиться затравка, яка має однаковий поперечний переріз зі злитком і слугує дном для перших порцій металу. Далі рідка сталь безперервно виливається з промислового ковша у верхню частину кристалізатора, який охолоджується водою. Рідкий метал постійно стікає у форму, тому злиток збільшується. Для покращення якості поверхні заготовки та стабілізації процесу, рівень металу контролюється та підтримується постійним. У місцях контакту кристалізатора з рідкою сталлю утворюється скоринка, яка не дає металу текти далі, тому кристалізатору надають зворотно-поступальний рух з певною амплітудою [2].

Після отримання заготовкою форми, вона витягується за допомогою роликів які швидко доставляють її до зони вторинного охолодження. У цій зоні за допомогою форсунок проводиться поверхнєве охолодження, заготовка твердіє по всьому перетину. Використовуючи такий спосіб, ми можемо отримати заготовки необмеженої довжини. Також такий спосіб дозволяє зменшити витрати металу на 15-20% , шляхом зменшення обрізків кінців заготовок. За допомогою цієї технології досягається рівномірність структури злитка по всій довжині.

Після процесу формування злитка в кристалізаторі та охолодження настають процеси різання на мірні довжини та сортування.

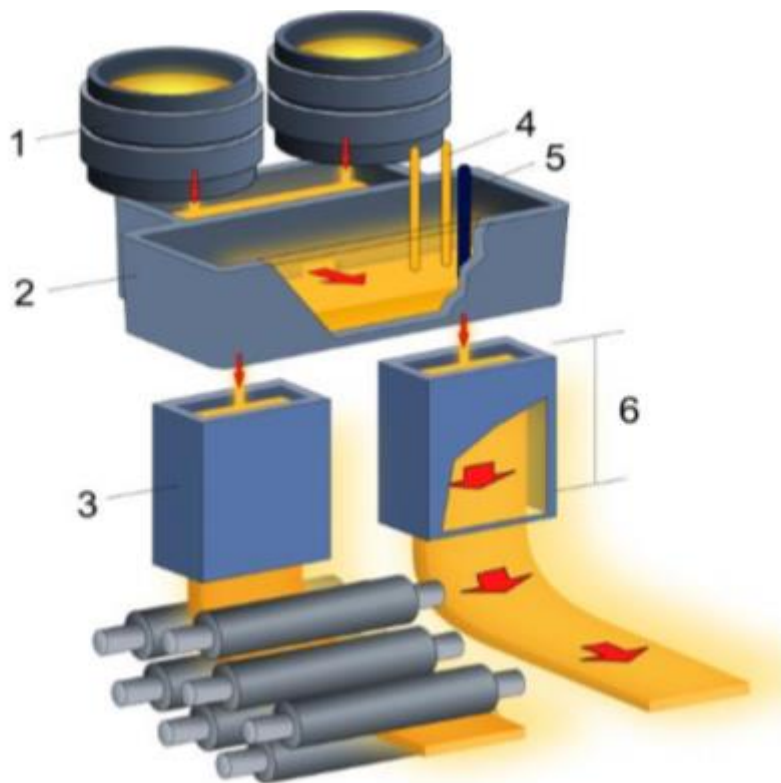


Рис. 2 – Схема безперервного розливання сталі.  
1 – Сталерозливна посудина (ківш), 2 – проміжний ківш, 3 – мідний кристалізатор, 4 – Нагрівальний пристрій для підтримки температури, 5 – стопор, 6 - зона первинного охолодження і початку кристалізації.

### ВИСНОВКИ

Отже, такі комплекси широко використовуються в Україні та у всьому світі. Ця система не є ідеальною тому дослідження теперішніх та створення нових систем контролю та діагностики є актуальною та необхідною задачею, адже від якості сталі залежить міцність великих установок, транспортних об'єктів, та життя багатьох людей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Машина неперервного лиття заготовок [Електронна адреса]: Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: [www.URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Машина\\_непрерывного\\_литья\\_заготовок#CITEREFКудрин1989](https://ru.wikipedia.org/wiki/Машина_непрерывного_литья_заготовок#CITEREFКудрин1989)
- [2] Кудрин В. А. Металлургия стали. Учебник для вузов. – Москва: Метталургия, 1989. – 560 с. - ISBN 5-229-00234-4

*Наук. керівник – професор Гераїмчук М.Д.*